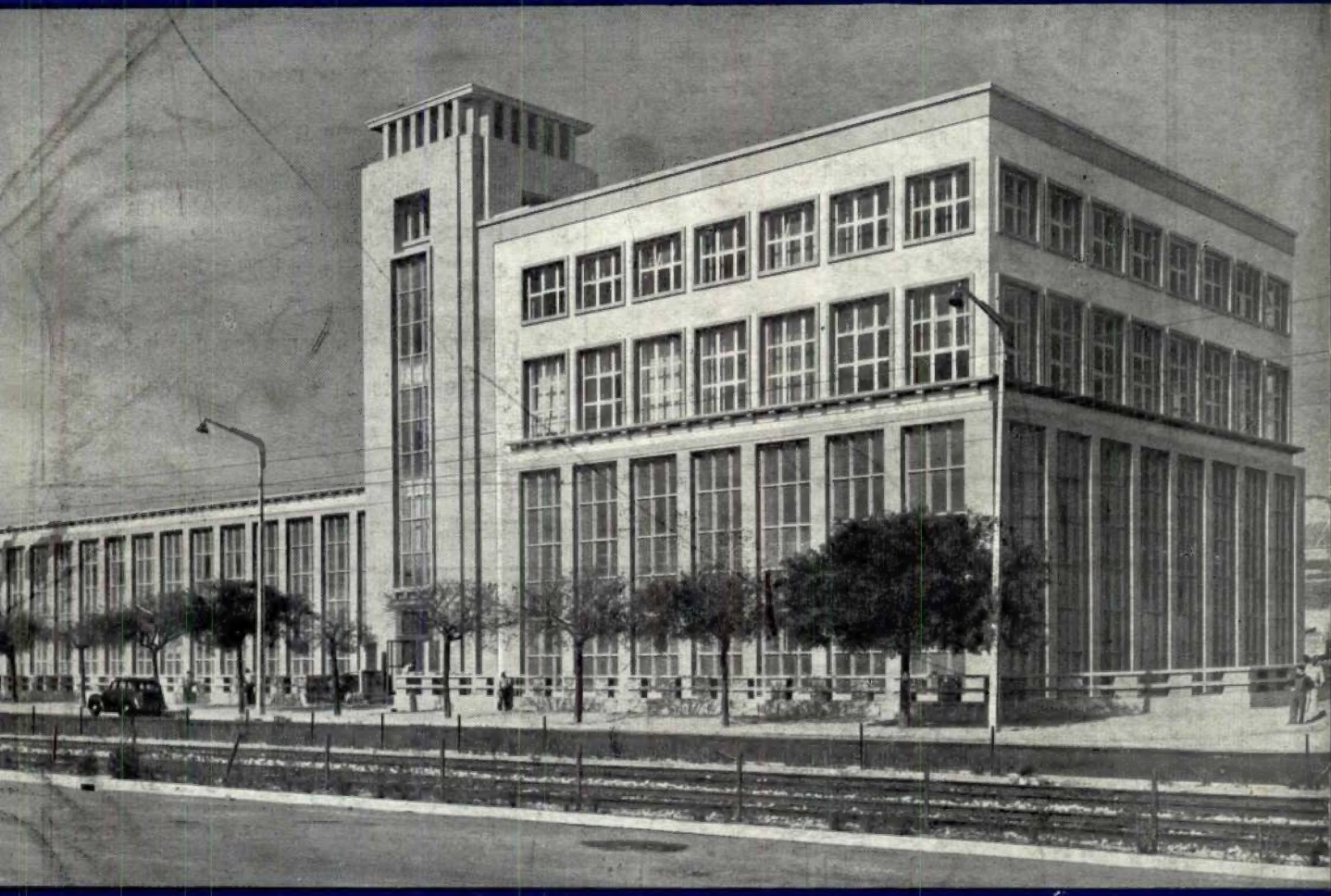
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 187-D z mbro-1948

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

Oficina e Laboratórios
do

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDES, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTECNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA-ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público.

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

NÚMERO
187
Dezembro — 1948

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

ADMINISTRADOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ

BIBLIOTECÁRIO
HORÁCIO DE CAMPOS NETO

SECRETÁRIO
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ

CORPO REDACTORIAL
JOÃO A. A. JUSTO
JOSÉ PIRES CASTANHO
DUARTE N. MENDES DA COSTA

NÚMERO AVULSO 7$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	21$00	40$00	75$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	45$00	80$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

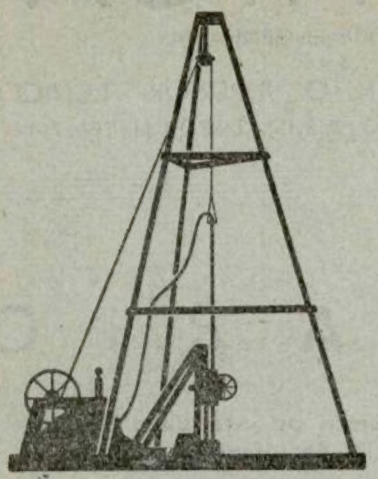
COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Edifício da nova fábrica da «Standard Eléctrica Portuguesa», para meterial de telocomunicações

		Págs.
A Estruturação teórica do curso de engenharia química	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	57
Representação dos resultados da análise das águas industriais	Eng.º A. Herculano de Carvalho	63
La science du beton	Eng.º R. l'Hermite	69
Processos unitários da química orgânica	Eng.º Manuel Chagas Roquette	88
Abertura da galeria de descarga do Descarregador de Superfície da Albufeira do Pego do Altar	Eng.º Armando da Palma Carlos	96
Misturadores descontínuos	Eng.º José Ferreira Amaro	110
Relatório da Direcção da «Técnica» do ano lectivo de 1948-49		116
Biblioteca		119

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES



RODIO

SONDAGENS RODIO, Limitada

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

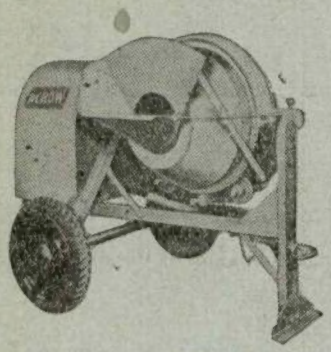
Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685



ACROW

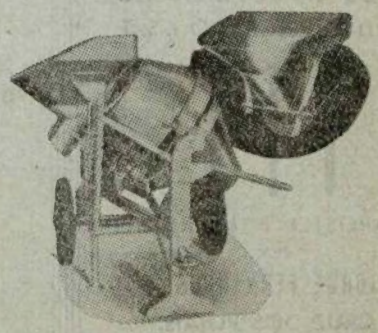
150 LITROS

As únicas betoneiras de 150 litros, equipadas com tremonha doseadora de materiais, permitindo trabalho contínuo, isto é o s/**rendimento aumentado em 50 %**; chassis montados sobre molas e rodado sobre pneus, permitindo **a mais fácil deslocação.**

MOTORES

A GASOLINA

Entrega imediata, no armazém do representante exclusivo para Portugal



Telef. 2 2001 / 2 6633

Henry M. F. Hatherly, Ltd.ª

Rua do Comércio, 8-5.º — LISBOA

TÉCNICA
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES
DIRECTOR

ANO XXIV - N.º 187 DEZEMBRO 1948

A ESTRUTURAÇÃO TEÓRICA DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL LUÍS A. DE ALMEIDA ALVES
Assistente do I. S. T.

C. D. 66.0 (077)

INTRODUÇÃO

No artigo sobre «A Orgânica das Aulas Práticas do Instituto Superior Técnico», que foi publicado na «Técnica», há pouco tempo, (1) foram estudadas, em linhas gerais, as condições básicas a que deve obedecer a estruturação teórica dos cursos de Engenharia, de modo a ser possível, como aí se disse, «conciliar a profunda especialização exigida pela Engenharia moderna, com uma sólida cultura técnica geral». O estudo que se fez conduziu, evidentemente, à determinação de condições necessárias, a partir das quais se deduziram os primeiros princípios gerais de organização dos cursos e das reformas a efectuar.

Estes princípios gerais que constituem o ponto de partida para o estudo de qualquer curso, são necessàriamente incompletos porque não fazem intervir todas as condições a considerar; por isso, só depois de determinadas, também, as condições suficientes para cada curso em particular, será possível estabelecer convenientemente a sua estruturação. Estas condições suficientes estabelecer-se-ão, naturalmente, analisando, em pormenor, qual a posição que cada curso deve ocupar em relação à vida profissional, de modo a obter o máximo de rendimento prático; mas, como não é possível ensinar, durante um curso, todos os assuntos referentes a um dado ramo de actividade técnica, a análise reduz-se, imediatamente, à fixação de um critério de selecção desses assuntos.

É evidente que, em cada assunto novo que tenha de ser estudado na prática, se utilizam, em parte, conhecimentos já adquiridos durante o curso e, como consequência, pode estabelecer-se o seguinte princípio fundamental:

Os assuntos de cada curso devem ser escolhidos de modo a poderem ser utilizados com o maior rendimento em qualquer *problema novo que apareça na prática.*

---

(1) N.º 184, Junho de 1948

O problema apresenta-se, portanto, simultâneamente, com carácter de profundidade e de extensão; mas, sendo assim, é necessário determinar uma solução que satisfaça a estas duas condições, procurando uma relação que permita fixar o grau de desenvolvimento de cada assunto, em função da sua finalidade dentro do curso. Esta relação terá de satisfazer ao princípio que foi enunciado e, portanto, pode concluír-se que, dum modo geral, *quanto maior for a generalidade de um dado assunto, maior terá de ser o seu grau de desenvolvimento visto que, neste caso, mais amplo será o seu campo de aplicação.* (1)

Nestas condições, a estruturação de um curso de Engenharia estabelecer-se-à definindo racionalmente quais os assuntos que devem constituir a sua parte geral e o respectivo desenvolvimento, e efectuando, sobre estes assuntos gerais, uma especialização progressiva, com uma diminuição simultânea da profundidade de estudo.

CAPITULO I

Assuntos Gerais do Curso de Engenharia Química

Na obtenção industrial de um dado produto por meio de uma reacção qualquer, há a considerar as quatro operações seguintes:

1) Transporte e mistura dos reagentes
2) Realização das reacções
3) Separação e transporte dos produtos das reacções
3) Controle das reacções, dos reagentes e dos produtos das reacções

O estudo completo destas quatro operações exige, como é lógico, o conhecimento dos seguintes pontos:

1) Mecanismo das reacções
2) Processos de realização prática das condições exigidas pelo estudo desse mecanismo.
3) Operações de transporte, mistura e separação
4) Métodos de controle.

Analisemos cada um destes pontos, separadamente.

1) As reacções podem efectuar-se sem destruição da estrutura do átomo (reacções químicas entre moléculas ou iões) ou destruindo essa estrutura (transmutações atómicas e radioactividade). As leis que regulam cada um destes tipos constituem, respectivamente, a Mecânica Química e a Mecânica Atómica (2).

2) O estudo da Mecânica das reacções conduz, em geral, à determinação das condições de pressão e de temperatura, para as reacções químicas, e ao estabelecimento de campos eléctricos e magnéticos para as reacções atómicas.

Este último caso não está dentro do âmbito das funções do engenheiro químico, para o qual é suficiente uma ideia geral sobre as soluções que se adoptam. No que se

---

(1) É evidente que esta conclusão não se aplica às cadeiras básicas, visto que estas não intervêm, em geral, directamente, nos assuntos de especialização.

(2) A designação de Mecânica Atómica não é corrente e usa-se, especialmente, com um objectivo de sistematização.

refere às reacções químicas, as condições de pressão são estudadas no Transporte de Fluídos e as de temperatura estabelecem-se a partir do conhecimento da combustão, de gasogénios, de fornos e de refrigeração, sendo a primeira baseada na Mecânica Química e os últimos na Mecânica Química, na Transmissão de Calor e na Termodinâmica.

3) As operações de transporte, mistura e separação são designadas por operações Unitárias da Indústria cujo estudo, juntamente com o dos gasogénios, fornos e refrigeração, constitui a Tecnologia Química.

4) Os métodos de controle são constituídos por análises químicas e físicas; as primeiras baseiam-se na Mecânica Química e as segundas nos Métodos Físicos de Análise.

Como consequência da análise feita, os assuntos gerais [1] sobre os quais o estudo da Engenharia Química tem de ser apoiado são: Mecânica Química, Mecânica Atómica, Tecnologia Química e Mètodos Físicos de Análise.

CAPITULO II

Estruturação teórica dos assuntos gerais

Analisando com maior detalhe cada um dos assuntos gerais, pode estabelecer-se esquemàticamente a sua estruturação teórica.

Mecânica Química

Equações diferenciais ordinárias, termodinâmica (energia livre, energia ligada, potenciais de Gibbs), lei das fases, diagramas de equilíbrio binários e ternários, electrostática.

Mecânica Atómica

Equações às derivadas parciais de 1.ª e 2.ª ordem, probabilidades, raios catódicos, raios X, espectros de Röntgen.

Tecnologia Química

Transporte de sólidos —Atrito, dinâmica dos sólidos, geometria analítica de superfícies, cinemática dos sólidos, resistência de materiais.

Transporte de líquidos e de gases — Dinâmica dos fluidos, resistência de materiais.

Moagem — Resistência de materiais.

Mistura — Dinâmica dos fluidos.

Peneiração — Probabilidades.

Classificação, separação por densidades — Dinâmica dos fluidos.

Separação eléctrica e magnética — Electrostática e magnetostática.

Extracção — Difusão — lei de Fick, convecção — Números de Reynolds e de Schmidt, diagramas (binários e ternários).

Sedimentação. Espessamento — Dinâmica dos fluidos.

---

[1] Estes assuntos gerais são acompanhados, evidentemente, das cadeiras basicas.

Filtração. Prensagem — Dinâmica dos fluidos. Transporte de gases.
Centrifugação — Dinâmica dos fluidos.
Secagem — Difusão e convecção, termodinâmica dos vapores.
Cristalização — Termodinâmica.
Decantação. Destilação. Condensação — Termodinâmica dos vapores, diagramas de equilíbrio (binários e ternários).
Absorpção — Difusão e convecção. Diagramas de equilíbrio.
Transmissão de calor — A estruturação já indicada na Teoria de Calor e Máquinas Térmicas (1)
Refrigeração — Termodinâmica.

Métodos Físicos de Análise

Conductividade eléctrica, refracção da luz, interferência, polarização, espectros luminosos, fotografia, fluorescência, raios X, espectrografia de massas, etc.

Comparando o esquema anterior com o que foi apresentado quando se estudou a estruturação teórica das cadeiras básicas, verifica-se que as cadeiras gerais do curso de Engenharia Química não exigem preparatórios especiais de matemática, mas obrigam a conhecimentos suplementares de Física, no que se refere a termodinâmica, electricidade e óptica (2).

CAPITULO III

Orgânica de funcionamento das cadeiras dos assuntos gerais e das cadeiras complementares

Os quatro assuntos gerais que se estabeleceram terão de ser ensinados em cadeiras de cálculos e, portanto, as aulas práticas respectivas consistirão de problemas nos quais não deve intervir nenhuma ideia de sistematização dos conhecimentos da Química. Mas, como também é necessário conhecer os assuntos em extensão, será necessário criar cadeiras de sistematização, baseadas nas cadeiras gerais já estudadas em profundidade e por meio das quais se estabelece contacto com os problemas usuais de Engenharia Química.

Estas cadeiras de sistematização e de informação são a Química Inorgânica, a Química Orgânica, a Química Analítica, a Metalurgia e a Electroquímica Aplicada, as quais são cadeiras descritivas que têm de ser orientadas nos moldes estabelecidos pela Mecânica Química e cuja parte prática será necessàriamente laboratorial.

Deve notar-se que estas cadeiras não são suficientes para completar a organização do curso de Engenharia Química, porque, pela sua extensão se limitam a constituir um complemento da Mecânica Química, deixando, portanto, incompletos os três restantes assuntos gerais.

No que se refere à Mecânica Atómica, não há interesse em efectuar um desenvolvimento ulterior, porque, só em casos muitos especiais é que um engenheiro químico português terá de trabalhar em problemas desta índole; bastarão, portanto, alguns conhe-

(1) «Técnica», número citado, pág. 1000.

(2) É esta a razão por que se atribuiu um semestre suplementar de Física ao curso de Química, como referi na nota (1) da pág. 1001, do artigo citado. Deve notar-se, no entanto, que este artigo não é rigorosamente igual ao Esboço aí referido, porque esse foi elaborado sobre uma estrutura já existente.

cimentos de radioactividade que ficarão englobados no estudo geral da Mecânica Atómica.

Quanto à Tecnologia Química e os Métodos Físicos de Análise terão, com certeza, de dar origem a duas cadeiras complementares, respectivamente, Tecnologia Aplicada e Controle das Reacções Químicas, a primeira das quais será constituída por um estudo tecnológico de algumas indústrias, preferìvelmente de interesse nacional e a segunda pelo estudo dos métodos gerais de controle das reacções. A Tecnologia Aplicada, pela sua finalidade é uma espécie de parte prática da Tecnologia Química e, por isso, deve ser ensinada pelo mesmo professor ([1]), e as suas aulas práticas não devem ser constituídas por problemas nem por trabalhos laboratoriais, mas sim por visitas detalhadas a fábricas, com estudo prévio, em linhas gerais, das indústrias existentes nas instalações a visitar ([2]); por seu lado, o Controle das Reacções Químicas deve evidentemente ter prática laboratorial com utilização de aparelhagem e montagem de instalações piloto.

CAPITULO IV

Dificuldades práticas da estruturação anterior

O esquema que se apresentou anteriormente e que é necessário para ser possível estar a par da Indústria Química actual, ([3]) apresenta fundamentalmente, as seguintes dificuldades de execução: de aparelhagem e de organização.

1) *Dificuldades de aparelhagem*

Entre as cadeiras que têm prática laboratorial, há três que exigem aparelhagem bastante cara, da qual, actualmente, pouca existe no I. S. T. e que são a Electroquímica, a Metalurgia e o Controle das Reacções Químicas. Deve notar-se que a falta dessa aparelhagem não constitui razão para que as aulas práticas não se realizem, porque, pelo menos, é sempre possível conhece-la por meio de livros e catálogos e estudar algumas determinações concretas.

2) *Dificuldades de organização*

São estas, como já por várias vezes tenho feito notar, as maiores dificuldades a resolver. Com efeito, as cadeiras básicas da Engenharia e as cadeiras gerais do curso de Química constituem, como já se mostrou, assuntos bastante vastos, mas que têm de ser estudados com relativa profundidade; por isso, e atendendo às suas características de cadeiras preparatórias, deverão ocupar o menor tempo possível dentro da organização geral do curso. ([4]) Mas para satisfazer ao mesmo tempo, às condições de profundidade e de rapidez exige-se obrigatòriamente um elevado rendimento do ensino, o que só é possível

---

([1]) As aulas dadas por especialistas estranhos à Escola só tem interesse depois de conhecidos os assuntos com relativo desenvolvimento.

([2]) As visitas sem este estudo prévio têm pouca utilidade.

([3]) Para se ter uma ideia da preparação que é preciso ter para acompanhar o desenvolvimento actual da Química Industrial basta consultar, por exemplo, as revistas americanas «Chemical Engineering Progress» e «Industrial and Engineering Chemistry».

([4]) Este pormenor já foi tratado no artigo citado.

mediante um exaustivo trabalho individual de *síntese* de cada assunto [1] e de um persistente esforço colectivo de *coordenação* dos diversos assuntos, quer preparatórios quer de especialização.

Não basta estabelecer um programa, indicando os nomes das cadeiras, porque estes nada dizem, verdadeiramente, quanto aos assuntos que nelas são tratados, [2]; o que é preciso é fazer um estudo completo dos assuntos a tratar em cada cadeira, capítulo por capítulo, de modo a ser possível definir rigorosamente qual o grau de desenvolvimento a dar a cada um para satisfazer à estrutura geral do curso. Cada cadeira tem de desempenhar uma função bem definida em relação a todas as restantes e, por isso, nenhuma delas pode deixar de satisfazer a este objectivo, sem se correr o risco de destruir a unidade dos cursos e o seu valor como base da actividade profissional.

Acontece que, em grande número de cadeiras, a parte final (especialmente a prática) não chega a ser dada, originando descontinuidades dentro dos cursos, com prejuizo imediato da coordenação do conjunto; por isso, torna-se necessário que, além do trabalho de síntese e de coordenação, se estabeleçam condições para que os programas estabelecidos sejam cumpridos *integralmente,* sem o que é inútil todo o trabalho de organização.

Afirmou o Snr. Prof. João Adrião de Sequeira, actual director do I. S. T. que quando a «Técnica começou a publicar as memórias de Alfredo Bensaúde, o fez na melhor das oportunidades, quando, passados 36 anos, se impõe a remodelação da escola por ele criada». [3] Parece não haver dúvidas quanto à necessidade desta remodelação, mas não se pode esquecer que é fundamental, como já disse no artigo citado, *que qualquer reforma que se faça seja cuidadosamente estudada nos mais pequenos pormenores, a fim de não correr o risco de ser puramente formal.*

(1) Este trabalho de síntese exige muito estudo e muita meditação e por isso obriga a que os professores e assistentes não se dispersem por várias cadeiras de índoles diferentes.

(2) Basta notar a diferença de programas entre cadeiras com nomes idênticos dadas no I. S. T. e na Faculdade de Ciências.

(3) Técnica, n.º 177, Novembro de 1947.

Representação dos resultados da análise das águas industriais

PELO ENG.º A. HERCULANO DE CARVALHO

Prof. do I. S. T.

C. D. 543,3

Comunicação apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

As bases essenciais da actual teoria das soluções foram estabelecidas há mais de meio século e datam já de há vinte e cinco anos os trabalhos de Debye e de Hückel que, depois do enunciado daquelas bases por Arrhenius, constituem a mais importante e feliz tentativa de aperfeiçoar e renovar a teoria, em face dos dados experimentais acumulados durante aquele lapso de tempo. Outros aperfeiçoamentos sensíveis se introduziram desde então, mas nenhum passo *decisivo* se pode assinalar, particularmente no sentido de generalizar a teoria de Debye — Hückel à zona das soluções concentradas.

Como é natural, a linguagem e a representação da teoria dos iões entraram de há muito nos nossos hábitos, usando-se correntemente no ensino e em muitas aplicações.

Mas pelo que respeita à representação da análise das águas, causa espanto o verificar que o terreno efectivamente conquistado pela teoria é ainda limitado. Se a figuração iónica já aparece com frequência para as águas chamadas mínero-medicinais, é mais raro encontrá-la nas análises das águas potáveis; quanto às águas para fins industriais, especialmente as que se destinam à alimentação de caldeiras, a resistência contra o uso das tabelas iónicas é regra geral; só alguns autores modernos as utilizam e se atrevem a propor que elas sirvam de base racional aos cálculos da dureza, agressividade, correcção química, etc. Lêem-se ainda frases como esta: «prefiro as minhas fórmulas (empíricas) às fórmulas complicadas da teoria dos iões» e encontram-se tabelas com os conhecidos coeficientes de transformação em milivales, $\left(\frac{V}{M}\right)$, onde eles se apresentam como factores empíricos servindo apenas para facilitar o cálculo da composição salina provável!

Autores de tratados excelentes, confessando a sua franca adesão às representações iónicas, cedem perante o hábito corrente e desculpam a sua abdicação com a força da rotina. E esta rotina ainda obriga a falar, por vezes, na linguagem de Berzelius!

A respeito da análise e cálculo da correcção das águas para caldeiras, ainda vulgarmente se não topa na bibliografia com um tratamento da questão adentro dos moldes actuais da ciência físico-química. Apenas, já com certa frequência, se encontra esse tratamento geral num ou noutro autor americano ou francês.

Ora julgo que não há nenhuma razão para persistir na rotina. Não se diga que o engenheiro ou o simples prático têm mais dificuldade em interpretar as tabelas iónicas tomando-as como base dos seus cálculos. De forma alguma! O próprio analista, uma vez integrado no sistema — que, para o objectivo, se torna simplicíssimo, não gastará mais tempo, antes em muitos casos reduzirá a extensão dos cálculos a fazer.

Com efeito, o trabalho analítico é o mesmo: doseiam-se os iões, a alcalinidade, o resíduo seco, etc. O analista partidário do sistema iónico apresentará então a composição iónica,

em mg/l, e adiante o correspondente número de mili-equivalentes (mvales): a partir destes, calculará com a maior simplicidade a dureza total e a que provém separadamente dos sais de cálcio e dos sais de magnésio, a agressividade, etc.

O analista que obedece à rotina fará todos estes cálculos (ou outros análogos) e tem ainda de elaborar um quadro *hipotético* de sais. Não faz figurar explìcitamente os mvales, *mas tem de calculá-los* para fazer o seu quadro.

Haverá alguma justificação para se apresentar assim a composição da água?

1) — Comece-se por considerar que o agrupamento dos iões é hipotético: o analista A começará por combinar o Cl^- com Na^+ e, se crescer Cl^-, combinálo-á, por exemplo, com Ca^{++}; o analista B, prefere combinar o excesso de cloreto com o magnésio e um outro analista começará por combinar o ião $CO_3\ H^-$ com Ca^{++}: e assim cada um deles chegará a composição salina diferente das dos outros. E está no seu direito pois não existem razões científicas para escolher este ou aquele caminho mas apenas convenções assentes em hipóteses que variam consoante as simpatias do analista. Temos portanto a primeira incongruência: uma tabela salina representando a composição de uma água é sempre *arbitrária*: dois analistas poderão dar composições salinas diferentes para a mesma água. É claro que tem havido tentativas de unificar o sistema de agrupamento e várias propostas desse género se encontram nos livros: mas tudo isso são puras convenções, sem base científica nem... utilidade.

2) — A representação em sais, além de *arbitrária*, está longe da realidade físico-química.

A taxa salina das águas de alimentação das caldeiras (é nos casos normais, o das águas já tratadas e um pouco mais concentradas) não excede o limite da zona onde são aplicáveis as fórmulas derivadas da teoria dos electrólitos fortes e, a não ser o ácido carbónico e o silícico (este total ou parcialmente dissociado) não são de considerar electrólitos fracos. Com essas excepções, sabemos pois que, com todas as probabilidades, não existem na água moléculas salinas não dissociadas, mas apenas *iões*. Mesmo aqueles sais que investigações posteriores à teoria de Debye mostraram que têm tendência em se apresentar parcialmente indissociados (por ex. nitratos), existem nas águas industriais suficientemente diluídos, para que se deva admitir a sua dissociação completa

Portanto: o que há na água são iões e não sais; o analista, aliás, o que determina directamente são iões. Logo a tabela salina nada tem que ver com a realidade.

3) — Dir-se-á: mas a figuração salina tem a virtude (que justificaria o seu uso na prática industrial) de dar indicações sobre a natureza das incrustações, por exemplo, desde que na elaboração da tabela respectiva se entre em linha de conta com a solubilidade relativa dos vários sais. Esta vantagem é apenas aparente: o único meio seguro de conhecer a natureza de uma incrustação é... analisá-la.

As condições especiais de precipitação numa caldeira e a presença simultânea de várias espécies iónicas são causas que invalidam as previsões feitas. Quanto ao estabelecimento de simples probalidades duma dada composição ou à previsão de predominância dum dos sais na incrustação, o exame da tabela iónica é igualmente elucidativo. Portanto, nem sobre este aspecto o cálculo dum quadro de sais hipotéticos traz qualquer vantagem.

* * *

Vejamos agora como duma análise expressa só em iões se pode tirar com simplicidade tudo quanto hoje se exige para

apreciar e saber corrigir uma água para alimentação de caldeiras.

Nos casos correntes, basta fazer para as águas de alimentação de caldeiras as seguintes determinações quantitativas: pH, resíduo seco a 180°, alcalinidade (por titulação em presença do alaranjado de metilo), ácido silícico ($Si\ O_2$), cloreto, sulfato, nitrato, cálcio, magnésio, ferro (e alumínio). O teor de oxigénio dissolvido dosear-se-á em amostra especialmente colhida para tal fim e, como complemento, (em geral sem grande interesse para o nosso objectivo) realizar-se-á o ensaio da oxidabilidade com permanganato (matéria orgânica).

Quanto ao ácido carbónico livre, pode fazer-se a titulação, com $OH\ Na$ ou $CO_3\ Na_2$, em amostra especialmente colhida [1], ou determiná-lo por cálculo a partir do valor de pH e de CO_2 total (este doseado em amostra especial) ou da alcalinidade. Atendendo ao fim em vista, sirvo-me correntemente deste último método na análise de águas para alimentação de caldeiras, seguindo um caminho simples que adiante indicarei. Também, regra geral, não doseio directamente nestas águas os iões alcalinos, cujo teor (computado em Na^+) se acha com bastante aproximação, por diferença entre os milivales dos aniões e os dos outros catiões atrás referidos.

Suponhamos então uma água analisada como acima indico e os resultados expressos em mg/l (ou em «partes por milhão»: p. p. m.) dos iões doseados.

Multiplicando agora cada um destes valores pelo cociente [2] $\frac{v}{M}$ (v = valência do ião, M = massa iónica) obteremos o número de miliequivalentes por litro, ou mvales.

Note-se que o teor de CO_3H^- se obtém aqui, com suficiente aproximação, a partir da alcalinidade, a qual se determina, como disse, por titulação com $Cl\ H$ em presença do alaranjado de metilo. O tom exacto que corresponde à equivalência é fácil de reconhecer com alguma prática; em caso de dúvida, utilizar-se-á um ensaio paralelo com uma solução-tipo.

Se for N a soma de milivales dos aniões e C' a dos catiões em excepção dos alcalinos, teremos:

$$C = [Na^+] = \text{mvales de } Na = N - C'$$

$$(Na^+) = \text{mg/l de } Na = C \times 23$$

e assim ficam completas as tabelas no caso das águas com $pH < 8{,}4$, que é o caso vulgar para as de alimentação de caldeiras, não corrigidas.

Para valores mais altos de pH (águas tratadas e residuais das caldeiras) haveria a considerar além de $CO_3\ H^-$, $CO_3^=$ ou então $CO_3^=$ e OH^-; pode agora fazer-se a distribuição da alcalinidade de acordo com as indicações de Mc Kinney [1].

Consideremos os casos usuais das *águas não tratadas:*

1.° — *Cálculo de CO_2 livre (CO_3H_2)* — Se o coeficiente de actividade dos iões monovalentes se puder considerar, sem erro sensível, igual à unidade, será inútil fazer o cálculo desse coeficiente. Assim costumo proceder para águas com resíduo seco inferior a 100 mg/l.

Caso contrário, utiliza-se a fórmula de Debye — Noyes:

$$\log f_1 = -0{,}298 \sqrt{\Sigma\ C_i\ v_i^2}\ ,$$

onde f_1 é o coeficiente de actividade dos iões monovalentes e $\Sigma\ c_i\ n_i^2$ o dobro da «força iónica», somatório dos produtos das concentrações (em moles/l) de cada ião pelo quadrado da respectiva valência. Como temos as concentrações em mvales, muito fácil se torna este cálculo. Agora a con-

(1) V. «Guia de ensaios Normativos de Análise química das águas potáveis», por R. Casares Lopez, C. C. Coutinho, R. Guedes de Campos e L. Villanóva Fungairiño — pág. 57-59.

(2) Para maior comodidade elaborar-se-á um pequeno quadro com o valor desses cocientes para cada um dos iões doseados.

(1) Ind. Eng. Ch — Analyt Ed. — vol. 3 — N.° 2 — pág. 191 (1931).

centração, em mg/l de CO_2 livre (CO_3H_2), será dado pela expressão:

$$(CO_2 \text{ livre}) = \frac{f_1 \cdot [CO_3H^-] \cdot R}{1 - R} \times 44 .$$

onde R é o valor da fracção:

$$R = \frac{\{CO_3H_2\}}{\{CO_3H_2\} + f_1 \cdot [CO_3H^-]} = \varphi(pH)$$

No artigo, já citado, de Mc Kinney, encontram-se tabelas donde se tiram os valores de R para os vários valores de pH.

Preferindo a titulação directa, aconselho o uso do indicador de Simpson [1] em presença duma solução-tipo de pH = 8,35 [2].

O ensaio deverá fazer-se em duplicado.

2.º — *Cálculo da dureza* — A dureza total logo aparece decomposta em

a) dureza devida aos sais de cálcio:

$$5 \times [Ca^{++}]$$

e *b*) dureza devido aos sais de magnésio:

$$5 \times [Mg^{++}]$$

e assim expressa em partes de CO_3Ca por 100.000, como é usual.

Quanto à distinção entre dureza temporária e permanente podemos admitir:

$$D \text{ perm.} = D \text{ total} - 5 \times [CO_3H^-]$$

e $$D \text{ temp.} = D \text{ total} - D \text{ perm.}$$

Na primeira fórmula, um valor negativo de D perm. tomar-se-á como nulo (águas «bicarbonatadas sódicas»).

Ficamos assim com todos os elementos para o cálculo de correcção da dureza.

A determinação desta característica pelas soluções de sabão (hidrotimetria, reservar-se-á para o «controle» rápido da correcção na própria instalação. O método pode porém servir para a dosagem de Ca^{++} e Mg^{++}, empregando-se então solução devidamente aferida de palmitato de sódio fabricada a partir de ácido palmítico puro.

Dispenso-me de apresentar as fórmulas de correcção das águas, que são bem conhecidas. O facto de terem de praticar-se sobre os dados duma tabela iónica, longe de ser uma complicação, simplifica a tarefa. É este o aspecto que desejo focar.

Melhor que com base nas durezas e com economia de tempo, se calcularão as quantidades dos reagentes correctivos a partir do número de mvales de Ca^{++} e Mg^{++} (e de CO_2 livre); a própria expressão das durezas, temporária e permanente, mais ùtilmente se poderão exprimir também em mvales, obtidos directamente dos dados analíticos indicados. O auxílio duma tabela de pesos equivalentes dos sais correctivos (elaborada duma vez para sempre) e o emprego duma régua de cálculo aumentarão a rapidez da tarefa.

A virtude da representação em mvales reside, como é sabido, em que nos permite evitar operações intermediárias de conversão, visto que eles representam verdadeiras unidades de combinação.

A transformação em compostos químicos (em mmg ou g), quando estritamente necessária, obtém-se com a maior facilidade multiplicando pelos pesos equivalentes (peso molecular a dividir pela valência que une os iões) do composto em causa. No cálculo da correcção, por exemplo, apenas haverá a efectuar *no fim*, a conversão nos sais de correcção escolhidos.

3.º — *Agressividade* — Qualquer que seja o caminho que se escolha para a investigação da agressividade, também a representação em iões será necessária, sobretudo querendo fazer uso dos métodos mais modernos, como o de Langelier e de Franquin [1].

Os conceitos de CO_2 agressivo (Tillman e

[1] Indicador misto de azul de timol (0,12 %) e de vermelho de cresol (0,02 %).

[2] V. nota [1], pag. 65, 1.ª coluna.

[1] Vide «Agressividade das águas de abastecimento», por C. C. Coutinho e J. J. Antunes Gonçalves — Lisboa, 1947.

Anerbach) e de pH de equilíbrio (Langelier) têm menos utilidade no caso de que me ocupo, dada a alta temperatura de regimen nas caldeiras e a falta de dados sobre os valores de várias constantes de equilíbrio a essas temperaturas.

Parece-me mesmo duvidoso que, nas caldeiras de baixa pressão, as acções de CO_2 livre e do O_2 tenham importância de maior. Já assim não será para as caldeiras trabalhando a pressões elevadas, mas aí temos por enquanto de abdicar dos cálculos e conduzir as coisas de forma a conseguir água de alimentação pràticamente livre desses gases (por ex. para O_2: 0,01 cm^3/l).

A agressividade a considerar (cuja causa se elimina com a correcção da dureza) é a que resulta da hidrólise do ião magnésio quando há «deficit» do ião bicarbonato ou carbonato:

$$Mg^{++} + 2\ OH_2 \rightleftarrows (OH)_2\ Mg + 2\ H^+ .$$

Para ter uma indicação geral da intensidade do fenómeno, podemos calcular então a agressividade pelas fórmulas simples de Stabler e Dole (1).

Façamos: $K = [Mg^{++}] - [CO_3\ H^-]$; se for 1) $K > 0$, a água é *corrosiva*. Se for $K < 0$, teremos:

2) $K + 1{,}008\,[Ca^{++}] < 0$: água *não corrosiva*
3) $K + 1{,}008\,[Ca^{++}] > 0$: água de *corrosão duvidosa*.

Quanto à acção do oxigénio dissolvido, nenhuma alteração no seu exame há a introduzir pelo facto de se usar a representação iónica.

— Corrosão alcalina («fragilidade» cáustica) — Só há a considerar a possibilidade deste fenómeno para as águas já tratadas e concentradas nas caldeiras, com pH superior a 11. Desejo porém notar que também aqui não é preciso ter uma representação salina para aplicar as fórmulas que se encontram na bibliografia. Se bem que trabalhos recentes ponham em dúvida a legitimidade dessas fórmulas e até a própria acção inibidora do ião $SO_4^{=}$ (1), ainda não parece haver bases sólidas para regeitar o que é ainda hoje de uso quase geral.

Para o cálculo do teor mínimo de ião sulfato poderá usar-se a fórmula de W. Francis, adaptada:

$$[SO_4^{=}]_{min.} \rightarrow A \times \frac{20 + P}{134} ,$$

onde A é a alcalinidade total em mvales (ml de sol. N/l por litro) e P a pressão na caldeira em kg/cm^2.

A quantidade de sulfato de sódio a adicionar, obtém-se multiplicando o valor do «deficit» de $SO_4^{=}$ calculado, por 0,161, o que dá g/l de $SO_4Na_2 \cdot 10\ OH_2$.

Mais aconselhável será usar o gráfico de Francis (2) que dá imediatamente o limite inferior e o limite superior (condicionado pela tendência «incrustante») daquele cociente. Fàcilmente o gráfico se adaptará à nossa representação e às nossas unidades de pressão, multiplicando as ordenadas por 0,07 e as abscissas por 1,34.

Finalmente se quisermos fazer a inibição pelo fosfato e regulação do pH, utilizaremos directamente a curva de Purcell e Whirl (3).

— Tendência para formar espuma e para arrastamento.

Querendo ter um ponto de referência pode adoptar-se o seguinte (4).

---

(1) Citados em «Standard Methods of Chemical Analysis» de Scott. Reduzimos estas fórmula à sua parte essencial — que é geralmente suficiente.

(1) — «Caustic embrittlement» — Engineering — 154-497 ss. (1942) e «Protection against caustic embrittlement by coordinated phosphate — pH control» — T. E. Purcell e S. F. Whirl — Trans. Electroch. Soc. 83-343 ss. (1943).

(2) — Boiler House and Power Stations Chemistry — Wilfrid Francis — Londres 1941 — pág. 82.

(3) — V. nota (2) — Trans. Electroch. Soc. 83 — pág. 350.

(4) — V. Scott: «Standard Methods of Chemical Analysis».

Sendo (Na) a concentração do ião sódio em mg/l, chamemos:

Coeficiente de espuma $= F = 2,7$ (Na).

Então a água será

«Nao espumante»	se	$F < 60$
«Semi-espumante»	»	$60 < F < 200$
«Espumante»	»	$F > 200$

CONCLUSOES

Parece bem demonstrado que a representação iónica, sem elaboração da tabela salina, nenhuma complicação traz ao químico ou ao prático, antes simplifica os cálculos a fazer. Por outro lado, viu-se que uma tal representação é a única justificável perante o estado actual da teoria das soluções.

Para desejar é, portanto, que o seu uso se generalize e todos contribuamos para que de vez seja abolido o mau hábito de apresentar a análise duma água como se nela existissem moléculas salinas.

E, para findar, uma observação relativa à prática da correcção das águas de alimentação de caldeiras.

Em futuro mais ou menos próximo é de esperar que o uso de substâncias orgânicas permutadoras («organolites») domine o campo daquela operação.

Então, para averiguar da viabilidade económica da correcção pedir-se-á apenas ao químico-analista que determine o resíduo seco, ou melhor a condutividade eléctrica da água, e o teor de sílica. Após a passagem através das duas espécies de «organolites» (alcalina e ácida) determinar-se-á mais: pH, CO_3H_2 e O_2. A análise e o cálculo duma possível correcção complementar ficarão assim extremamente simplificados e o industrial poupará muita chapa e tubo de aço e muito trabalho de limpeza das suas caldeiras.

Para que sistemàticamente se examine, em cada caso, a possibilidade duma tal purificação tambem aqui deixo expressos os meus votos.

LA SCIENCE DU BETON

PAR R. L'HERMITE

Directeur des Laboratoires du Bâtiment
et des Travaux Publics.

C. D. 666.97.001

Conferência realizada no I. S. T. em Julho de 1948, a convite da Comissão da Exposição das Obras Públicas

L'ensemble des connaissances sur les propriétés mécaniques et physiques des bétons, commence de nos jours, à sortir de l'empirisme et à mériter le nom de Science du béton. On a pu mettre en évidence un ensemble de lois qui relient entre elles, les propriétés mesurables. Lorsque les faits et les expériences s'accumulent, on finit par constater que ces lois qui paraissaient embrouillées, à la longue deviennent de plus en plus simples et accessibles au calcul courant.

L'exposé de la science du béton mérite d'y consacrer un volume; c'est ce que je ne manquerai pas de faire un jour, si le temps me le permet; cependant, on peut essayer d'en dégager les grandes lingnes, et je vais tenter de le faire dans cet article.

La composition du béton en vue de sa qualité

Le béton est composé de différentes matières premières qui sont l'agrégat (cailloux, graviers et sable) le liant hydraulique pulvérulent et l'eau qui en se combinant chimiquement au liant doit former un solide continu et résistant. Le premier problème qui se pose donc au constructeur, est de rechercher quelle meilleure combinaison des élémentes conduira au solide final possédant les meilleures qualités; mais il faut savoir préalablement quelles sont les qualités cherchées.

La qualité habituellement considérée comme primordiale est la *résistance mécanique* à la compression. Or, on sait que la résistance à la compression croît avec la compacité, c'est-à-dire, que le volume relatif des vides doit être réduit au minimum.

Une seconde qualité qui paraît avoir aussi une grande importance est *l'étanchéité*.

C'est elle qui s'opposera à la pénétration des agents corrosifs du béton lui-même, donc à sa décomposition lente sous des eaux et des atmosphères diverses. C'est elle encore qui s'opposera à l'attaque et à l'oxydation des armatures dans les ouvrages en béton armé. La corrosion des armatures est un grave danger, car ce phénomène s'accompagne d'un gonflement du métal et de l'éclatement du béton qui l'entoure, c'est-à-dire qu'il conduit à la ruine de l'ouvrage à plus ou moins longue échéance.

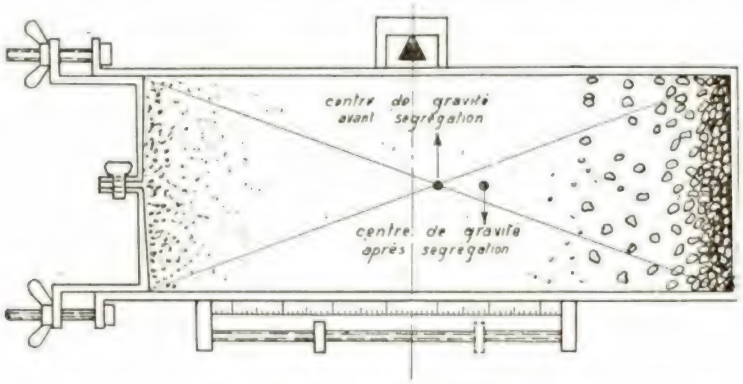
Cet accident est d'autant plus fréquent que la construction se trouve dans des ambiances corrosives, dans les eaux de mer ou les atmosphères marines en particulier. Là également, un béton est d'autant plus étanche qu'il est plus compact. Cependant, le contact entre l'armature et le milieu peut encore se faire directement par l'intermédiaire des fissures et la qualité du béton doit être recherchée dans l'élimination de d ces derniers. Il est certain que les fissures peuvent être provoquées par le manque de résistance du béton aux efforts mécaniques extérieurs et qu'elles peuvent être évi-

tées par une judicieuse disposition des armatures. Cependant, elles sont souvent dues aux tensions internes provoquées par le *retrait,* raccourcissement spontané du béton pendant son durcissement. Il s'agit ici d'un phénomène complexe dans lequel interviennent non seulement la résistance et la compacité, mais encore la *ductilité* du béton, capacité d'allongement avant rupture.
Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

Il semble bien, en résumé que la plus grande *compacité* soit la qualité primordiale que l'on est amené à rechercher dans la composition d'un béton. C'est dans ce sens qu'ont travaillé les nombreux auteurs et c'est ce qui forme la base de cette technique maintenant courante que l'on appelle «Etude granulométrique». Cependant, la plus haute compacité qui conduit à la plus haute résistance ne provoque pas à coup sûr, la plus faible fissurabilité. Or, dans beaucoup d'ouvrages, dans le bâtiment en particulier, la résistance est généralement surabondante pour les besoins de l'architecte, tandis qu'aucune garantie n'est donnée quant à la fissurabilité et même la perméabilité qui, en dernier ressort, assurent la durée de la construction. L'étude granulométrique enseigne que le meilleur béton est obtenu avec le minimum d'eau de gâchage, mais ne risque-t-on pas que ce béton sec soit mal mis en place, qu'il reste poreux et que les armatures soient mal protégées?

Il est loin de ma pensée de dire que l'étude granulométrique soit superflue, c'est au contraire une excellente et indispensable précaution. Elle doit cependant être faite avec le sens du praticien qui doit tenir compte des possibilités de mise en oeuvre, fournir une composition compatible avec les aléas du chantier, ne pas forcer l'obtention d'une résistance théorique incertaine, risquer des accidents plus probables. J'ai malheureusement l'impression qu'il n'est pas toujours ainsi. Nous devons donc ajouter à la liste des qualités nécessaires que nous avons énumerées, celle de *possibilité de mise en oeuvre* de la fabrication à la mise en place.

La première phase de la mise en oeuvre est le mélange ou malaxage des agrégats. Ils sont versés à l'intérieur d'un malaxeur ou d'une bétonnière dans le but d'obtenir à la sortie, un mélange aussi uniforme que possible. L'expérience montre que cette opération sur laquelle on n'a pas toujours apporté une attention suffisante a une importance considérable. Les quelques essais que nous avons effectués montrent que le temps de malaxage ne doit être ni trop court, ni trop long, et cette durée dépend du type de béton utilisé.



Dispositif d'équilibrage
Appareil pour la mesure de la «ségrégabilité» (d'après Tournon).
Fig. 1

Une durée de deux à trois minutes paraît en tout cas, être indispensable et contrairement à ce que l'on pourrait supposer, certains bétons perdent leur homogénéité sous l'influence d'un malaxage trop poussé ; c'est le cas de bétons à granulométrie discontinue par exemple. Pour fixer les idées, disons qu'il est à peu près impossible d'obtenir un béton dont l'homogénéité soit garantie à

moins de 5 % prés. On obtient couramment une hétérogénéité comprise entre 5 et 10 %, c'est-à-dire que les quantités retirées de chacune des classes de l'agrégat peuvent varier entre ± 10 % de la moyenne prévue. Jusqu'à 25 et 30 % d'hétérogénéité, l'aspect du béton ne change pas et l'oeil ne peut suffire à reconnaître la variation de qualité. Or une telle hétérogénéité peut avoir des conséquences désastreuses quant à la qualité du béton durci. C'est pourquoi, il est nécessaire de faire appel à une technique capable de fournir une mesure précise de la régularité de composition du béton frais. Nous y reviendrons plus loin à propos du contrôle.

L'ordre d'introduction des éléments dans la bétonnière a également une influence sérieuse. Le mode de remplissage le plus efficace paraît être dans l'introduction préalable des éléments du mortier: eau liant et sable, puis finalement les gros agrégats.

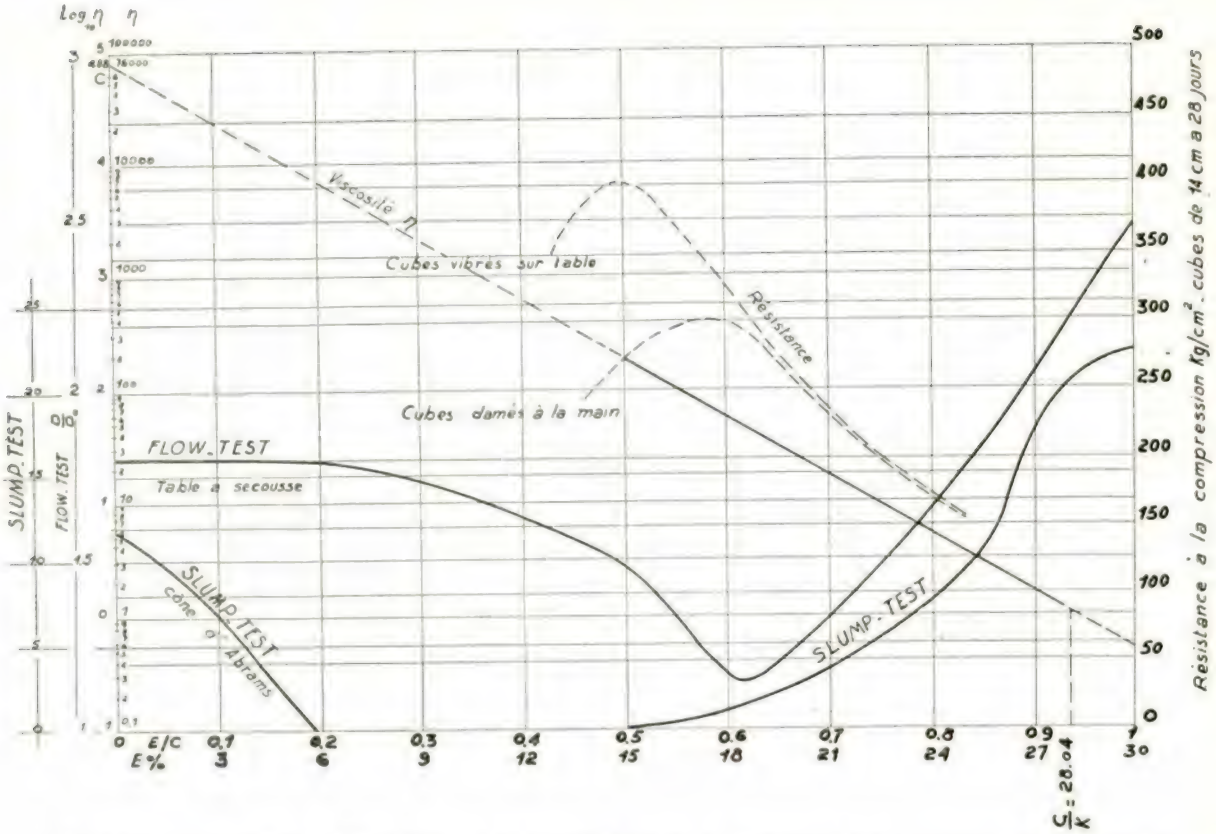
L'opération faite en sens inverse a pu donner dans certains cas une hétérogénéité allant jusqu'à 70 %.

Lorsque le béton est sorti de la bétonnière, il est conduit jusqu'au moule et subit pendant le transport des sollicitations diverses. Celles-ci ne peuvent avoir pour effet que d'accroître l'hétérogénéité sous l'influence d'un phénomène bien connu que l'on désigne sous le vocable de ségrégation. La *ségrégation* est le déplacement dans le sens de la gravité des plus gros grains de l'agrégat, et la remontée en sens inverse du mortier. La ségrégation est d'autant plus accentuée que le béton est moins visqueux, c'est à-dire plus fluide. On a donc avantage à posséder un béton le plus visqueux possible et l'étude granulométrique doit en tenir compte. On peut y arriver par réduction de la quantité d'eau ou encore par adjonction d'une charge telle que le Kieselguhr, ou une résine synthétique émulsionnée. La mesure de la «ségrégabilité» peut être faite facilement en remplissant de béton un moule cylindrique, dont la hauteur est un multiple du diamètre. On mesure la hauteur du centre de gravité du moule aussitôt rempli, et on le soumet à un régime de sollicitations dynamiques approprié.

Sous l'influence des vibrations, les éléments les plus volumineux descendent vers le fond du moule et, puisqu'ils sont plus denses que le mortier, le centre de gravité baisse. L'indice de ségrégabilité est alors proportionnel à la chute du centre de gravité rapportée à sa hauteur initiale.

Enfin la mise en place du béton dans le moule nécessite certaines qualités que l'on a groupées sous le nom générique de «*workability*». On a pris l'habitude de la définir par un essai purement empirique qui consiste à mouler un tronc de cône: le cône d'Abrams, et à déterminer son affaissement au démoulage, on peut encore mesurer l'aplatissement d'un pâté de béton en forme de marmite renversée, posé sur une table à laquelle on imprime un certain nombre de secousses. Mais ces mesures sont purement empiriques, car l'affaissement peut correspondre pour le même résultat à des bétons visiblement différents, et conduire pour un expérimentateur non averti à des erreurs grossières. Ell s ont l'inconvénient de tous les tests technologiques sans bases physiques suffisantes, et dont le chiffrage ne peut se faire dans un système d'unités courant. C'est pourquoi nous avons cherché à rapporter les propriétés du béton frais à des notions exprimables dans un langage mécanique. A cet effet, nous avons construit un apareil grâce auquel on peut déterminer l'angle de frottement interne du béton par un procédé analogue à celui que l'on emploie pour la mesure de l'angle de frottement interne des terres. On constate alors que la valeur de cet angle donne avec celle de la viscosité, les coordonnées suffisantes au classement des bétons, d'après leurs propriétés de mise en oeuvre.

Finalement, nous pouvons conclure que la composition d'un béton qui doit tenir compte de toutes les qualités à l'état initial et à l'état final, est une question extrêmement complexe, et que la plupart des chercheurs qui se sont penchés sur le problème de la granulométrie, n'ont pas tenu compte de l'ensemble des besoins à satisfaire Ils ont principalement laissé de côté le facteur d'hétérogénéité qui, nous l'avons vu, est loin d'être négligeable. Il paraît nécessaire dans une étude granulométrique de faire



Variatons comparées du Flow-test, de la viscosité et de la résistance à la compression en fonction du rapport $\frac{\text{eau}}{\text{ciment}}$ (d'après L'Hermite et Tournon).

Fig. 2

intervenir les erreurs probables qui peuvent être comptées pour un ordre de grandeur moyen de 20 % et de voir quelle est la conséquence de ces erreurs sur la compacité, la résistance, la fissurabilité et les qualités de mise en oeuvre. Il ne faut pas oublier qu'un problème de granulométrie a généralement plusieurs solutions, et qu'il y a lieu de choisir celle qui permet le plus de latitude sur le chantier, celle pour laquelle une erreur accidentelle ne conduit pas à une catastrophe.

La mise en place du béton et la vibration

Les qualités mécaniques d'une pâte fraîche de béton, nous venons de le voir, doivent être telles, qu'elles permettent une mise en place facile et homogène. La granulométrie doit tenir compte de la dimension des coffrages, de l'importance et de l'écartement des armatures. Ceci conduit à définir la grosseur des plus gros agrégats et amène à la notion d'effet de paroi. En effet, les grains du mélange touchent la paroi par leur surface, et leur centre s'en trouve obligatoirement éloigné d'une distance correspondante. Comme cette distance est différente suivant la grosseur, il en résulte près des surfaces limites, une zone de granulométrie perturbée. Il est d'ailleurs facile d'en tenir compte, mais il faut cependant s'en préoccuper.

Le mode de mise en place le plus courant a lieu par simple piquage qui permet l'introduction de la matière dans tous les vides du moule, à condition que l'opération soit bien conduite. On constate cependant que le béton le plus sec et qui, en principe doit être le plus résistant est aussi le plus difficile à placer. Il possède un angle de frottement interne élevé qui s'oppose à son déplacement. Les praticiens ont donc tendance à diminuer cet angle de frottement, à

augmenter la fluidité par un accroissement de la quantité d'eau de gâchage. Ils sont arrivés de cette manière de remplir convenablement les coffrages, mais au detriment de la résistance, bien entendu. Il y a donc là à trouver un compromis que l'on doit laisser à l'appréciation du constructeur. Mais, cette eau supplémentaire qui a servi à améliorer le coulage peut être enlevée par la suite, et le béton serré par une opération encore peu répendue (à peu près inusitée en France pour le moment) que l'on appelle la succion (Vacuum Concrete). Sur la surface libre du béton et même à l'intérieur des coffrages peuvent être placées de larges ventouses formées par un treillage métallique fin derrière lesquelles on fait le vide, et qui absorvent une partie de l'eau en excédent, tout en laissant le ciment en place

Ce procédé ne semble pas, melheureusement, pouvoir être employé d'une manière courante sur les chantiers, et l'effet de la succion ne se fait pas sentir très loin en profondeur. Mais il y a tout lieu de croire qu'il peut rendre des services intéressants pour les pièces de faible épaisseur, telles que les dalles par exemple, et les éléments fabriqués en atelier.

On peut encore envisager le serrage du béton, grâce à un essorage par centrifugation et par compression. La compression cependant ne permet pas un gain considérable de compacité à cause justement, des frottements internes qui s'opposent aux mouvements relatifs des grains, et qui conduisent rapidement à leur écrasement si la pression devient trop élevée.

Il reste heureusement une dérnière ressource qui réside dans la vibration. Ce procédé est bien connu, il est même très employé, mais son mécanisme intime reste encore assez mystérieux. On peut même dire que les constructeurs qui vibrent le béton, savent que cette opération améliore sa qualité, mais en ignorent la raison. Il en résulte que la vibration est souvent mal employée, que souvent elle ne conduit pas à l'effet escompté, et que quelquefois, elle fait plus de mal que de bien. C'est cette lacune que j'ai cherché à combler lorsque, il y a quelques années, j'ai entrepris aux laboratoires des recherches à ce sujet Nous sommes arrivés maintenant à une conception précise et utilizable du phénomène de vibration que nous allons résumer.

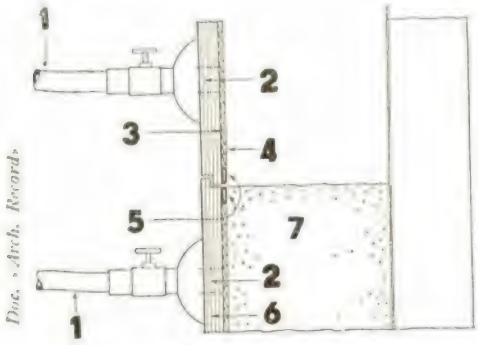
Doc. «Le Génie Civil».

Vue d'un coffrage perforé utilisé por le procédé Vaccum Concrete. La parte perméable en contact avec le béton se compose d'un tissu bien tendu ou d'une feuille de caoutchouc perforé, soutenu par une toile métallique fine et un treillage métallique.

Fig. 3

Commençons par une expérience simple en remplissant de béton frais une boite coupée en deux par un plan horizontal AB (fig. 5), la partie inférieure de cette boite étant solidement fixée sur une table. En

supposant que le frottement du béton sur les parois soit nul, ou négligeable, la pression P qui agit sur le plan AB est égale au poids du béton qui se trouve au-dessus. Faisons agir une force F longitudinale qui aura pour effet de cisailler le béton suivant le plan AB. La force F, soit f par unité de section augmente jusqu'à une certaine va-



Disposition du coffrage pour la déshydration du béton par succion (Vacuum Concrete, Etats-Unis).

1 — Tuyau flexible avec robinet ; 2 — Orifice de succion ; 3 — Treillage métallique ; 4 — Toile fine en contact du béton ; 5 — Bourrelet de caoutchouc ; 6 — Coffrage en contreplaqué ; 7 — Béton déshydraté.

Fig. 4

leur, puis le mouvement de cisaillement se poursuit pour f constant. Nous avons provoqué la rupture par cisaillement du béton. Nous écrivons alors le rapport $K = \frac{f}{p}$. Si nous augmentons la hauteur du

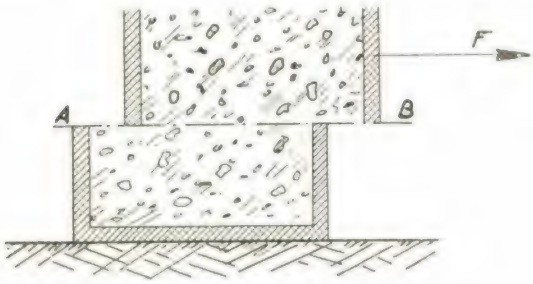


Fig. 5

béton dans la boite, ou que nous placions sur celle-ci un couvercle coulissant en forme de piston et que nous surchargions ce couvercle, nous obtiendrons une nouvelle valeur de p et une nouvelle valeur de f. Nous constaterons que $K = \frac{f}{p}$ est constant. Nous appellerons K le coefficient de frottement interne du béton. Nous en avons d'ailleurs

Appareils pour la vibration du béton.

A gauche : pervibrateurs-aiguilles (*Doc. Procédés Techniques de Construction*).

A droite : table de vibration unidirectionelle avec moule et parpaing (*Doc. Vibrogir*).

Fig. 6

parlé antérieurement en disant que c'était une caractéristique précise de sa nature mécanique.

Si nous portons sur deux axes rectangulaires p en abscisses et f en ordonnées, toutes les valeurs de f dépendant de celles de p s'alignent sensiblement sur une droite (fig. 7) qui fait avec l'axe des abscisses un angle α, que l'on nomme angle de frottement interne. Pour un béton contenant 50 % d'eau du poids de ciment, il est de l'ordre de 30° par exemple.

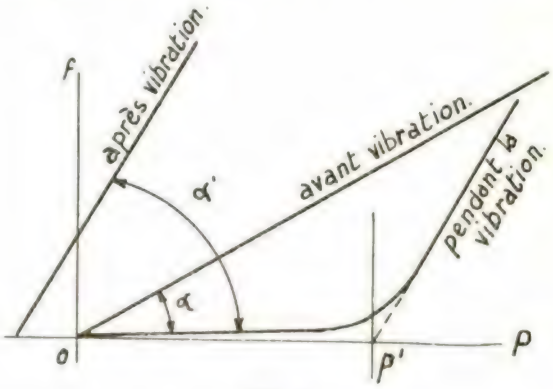


Fig. 7

Mettons maintenant cette boite sur une table vibrante et recommençons la suite des mesures en faisant croitre p. Nous voyons

que pour les premières valeurs de la pression on peut cisailler le béton sous un effort horizontal F nul ou négligeable. Le coefficient de frottement interne K s'annule. Cependant lorsqu'on atteint une pression assez élevée (entre 0,5 et 1 kg/cm^2 dans nos expériences) le cisaillement f nécessaire à produire la rupture devient mesurable, puis croit très vite (fig. 7). Entre une pression O et une pression p, le béton possède un coefficient de frottement nul : *il réagit comme un liquide*. Il est capable de s'écouler dans tous les sens et de pénétrer dans un moule comme un métal qui serait entré en fusion. Si nous arrêtons la vibration, et que nous

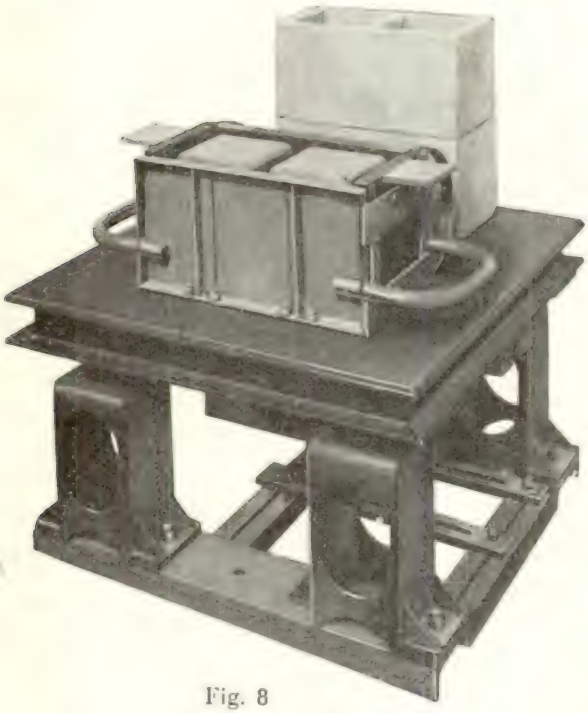


Fig. 8

recommencions l'opération du début, nous trouvons un nouveau coefficient de frottement plus élevé que celui de l'origine. Le béton a été serré, les grains qui le composent se sont imbriqués d'une manière plus intense les uns dans les autres. Il peut tenir sous un angle de talus naturel plus élevé, il possède une cohésion faible mais telle qu'on peut le décoffrer sans qu'il s'écroule. Mais ce qu'il y a de remarquable est que l'angle de frottement interne après vibration est le même que l'angle que fait la branche ascendante de la courbe établie pendant la vibration. Tout se passe donc comme si le béton était sous l'influence de la vibration, soumis à une pression négative qui aurait pour effet de la dilater et de s'oposer à la pression extérieure p. Tant que p est inférieure à cette pression d'expansion, le béton ne peut avoir de frottement interne, les grains tendent à s'écarter les uns des autres pendant des intervalles de temps suffisants pour que puisse se produire un déplacement relatif sans frottement.

Mais lorsque la pression p qui règne à un endroit déterminé et dans une direction déterminée devient supérieure à la pression d'expansion, ce phénomène de frottement interne apparait à nouveau, le béton a perdu sa propriété de liquidité à la faveur de laquelle il peut possèder des mouvements relatifs internes et se serrer, la vibration n'a plus d'effet.

Nous avons recherché la cause intime de cette pression d'expansion qui est la clef de la vibration et nous avons constaté qu'elle était due aux chocs mutuels des grains entre eux, et aux impulsions qui en résultent. Il y a ici quelque chose d'analogue à l'agitation des molécules d'un gaz activé par la chaleur et qui par les chocs qu'elle provoque sur les parois du récipient conduit à une pression qui augmente avec la température. Cette analogie entre l'énergie calorifique et l'énergie vibratoire est d'autant plus éloquente qu'elle se poursuit jusqu'à la fusion apparente du béton, de l'état de terre humide à l'état liquide.

On peut d'ailleurs aller assez loin dans l'analyse du phénomène et l'on trouve mathématiquement que la pression d'expansion est proportionnelle au volume des vides et à la racine carrée de l'énergie vibratoire qui régne dans l'élement de volume considéré. Mais ce milieu en vibration qu'est le béton ne voit pas tous les grains qui le composent se mouvoir périodiquement d'une manière analogue ; certains grains qui possèdent des liaison et une masse appropriée vibrent en harmonie avec le vibrateur. Ils ont une amplitude plus grande que ce dernier. Ils sont en agitation et pour cela même, sont les générateurs des impulsions

et de la pression d'expansion qui en découle. Par contre, les grains de plus faible diamètre ont une amplitude plus faible qui tend à devenir égale à l'amplitude de mouvement moyen du milieu. Les grains plus gros ont eux aussi une amplitude plus faible, mais qui tend à devenir nulle quand la grosseur augmente. Il existe donc, dans la granulométrie une classe de grains nettement active. Par analogie avec la théorie générale des vibrations des systèmes amortis, nous l'avons appelée *bande passante*. On trouve alors que le diamètre moyen de la bande passante est d'autant plus petit que la fréquence est plus élevée. On peut s'en rendre facilement compte lorsque l'on constate que la vibration à haute fréquence d'un béton laisse les gros grains sensiblement immobiles, tandis que le mortier qui les entoure entre en liquidité. Tout à l'apparence d'une gangue entourant les cailloux entrant brutalement en fusion, ceux-ci s'écoulant alors sous l'effet de la gravité.

La recherche de la vibration à utilizer ne doit donc pas être une augmentation à tout prix de la fréquence, mais la recherche de celle ou de celles que intéresse une bande passante représentant un volume continu capable par sa fluidification de libérer les liaisons du squelette formé par les grains de diamètres supérieurs. Il faut choisir la gangue dont nous parlons et la faire fondre. La vibration à très haute fréquence (20.000 périodes par minute) agira sur le ciment et les fines, la vibration à fréquence moyenne (8.000 périodes par seconde) agira sur le mortier, la vibration à basse fréquence (3.000 périodes par seconde) agira sur le gravillon. Il peut même être intéressant, dans certains cas de superposer plusieurs fréquences, ce qui aura pour objet d'accroître le volume mis en mouvement par l'agitation et de lui assurer une meilleure continuité.

Nous avons vu que pour une pression inférieure à une certaine valeur (pression qui peut être simplement le poids propre des couches situées au-dessus du point considéré) le béton devenait liquide. Il s'agit maintenant de spécifier les propriétés de ce liquide et ceci peut se faire par la mesure d'une propriété très simple qui est la viscosité. La méthode la plus simple que nous avons employée pour la détermination de la viscosité, est la mesure de la vitesse de déplacement d'une bille lestée à travers le béton. La viscosité est inversement proportionnelle à cette vitesse de déplacement qui représente par ailleurs la vitesse de ségrégation des cailloux des plus gros dans le sens de la gravité. Lorsque la pression augmente, la viscosité croît et tend vers une valeur très grande quand cette pression atteint la valeur limite de la pression d'expansion. Mais ce qui est plus intéressant encore est que la vitesse de serrage du béton pendant la vibration est inversement proportionelle au coefficient de viscosité. Elle peut d'ailleurs s'exprimer par la formule :

$$V = -Q\, e\, p \left[1 - \frac{p}{p_1} \right]$$

où e est le volume des vides à l'instant donné, p la pression hidrostatique qui règne au point considéré, p_1 la pression limite d'expansion (fig. 7) et q une constante qui dépend du béton. On voit que la vitesse de serrage devient nulle quand $p = p_1$. Il ne peut y avoir serrage que si le béton se trouve dans l'état de liquidité et la vitesse maximum a lieu lorsque $p = \frac{p_1}{2}$.

Il reste un dernier point à examiner, c'est celui de la propagation de la vibration. L'énergie vibratoire est en effet, appliquée à partir d'une source qui peut être la surface du coffrage ou celle d'une aiguille vibrante par exemple. Or une partie de cette énergie est absorbée au travers de chaque couche du béton qu'elle traverse et l'amplitude des vibrations qui en résulte va en s'amortissant.

Le coefficient d'amortissement, rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie fournie permet de calculer le rayon d'action du vibrateur. Disons que pour les bétons courants il est compris entre 5 et 15 % par centimètre, et qu'il est proportionnel au volume des vides (eau comprise).

L'ensemble des principes que nous venons de citer, se traduit en lois simples et en formules qui s'expriment dans les unités

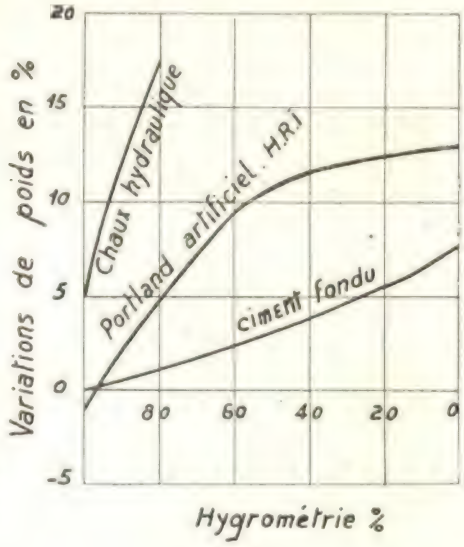
mécaniques de la science de l'Ingénieur. Elles permettent donc le calcul préalable d'un système vibrant en tout état de causes.

Le durcissement et le retrait

Le béton dont nous venons d'étudier la composition et la mise en oeuvre est destiné à faire prise et à durcir. Son durcissement dû à la réaction chimique qui se produit entre l'eau et le liant a pour effet de provoquer un accroissement de la résistance mécanique à la rupture, mais il s'accompagne d'une variation de volume que connaissent tous les constructeurs sous le nom de retrait. Ce phénomène est extrêmement complexe et mérite qu'on s'y arrête quelques instants.

Commençons par faire une bouillie claire de ciment et d'eau que nous plaçons dans un ballon surmonté d'un tube capillaire de telle façon que la bouillie monte dans le tube et que nous puissions en repérer le niveau. Nous avons constitué ainsi une sorte de thermomètre que nous désaérons avant de sceller la partie supérieure du tube. Nous constatons en premier lieu une ségrégation de la poudre de liant vers le fond du vase, puis lentement, une baisse du niveau de l'eau dans le tube. Ceci vient de ce que les *sels résultant de la combinaison eau-ciment ont un volume absolu plus faible que celui des constituants*. Au bout d'un certain temps, nous sommes surpris de voir que le ballon éclate à l'emplacement où le ciment a fait prise. Cette rupture du verre est une conséquence de *l'augmentation du volume apparent de la pâte* devant un excès d'eau. Cette pâte est comme une sorte d'éponge dont le volume extérieur irait en augmentant tandis que le volume absolu de son squelette irait en diminuant. Il y a donc diminution de sa compacité. Par contre, si cette pâte avait été laissée en milieu sec, nous aurions vu son volume apparent augmenter pendant les premières heures, puis diminuer constamment : c'est le retrait.

Or, le retrait est d'autant plus élevé que l'atmosphère est plus sèche, c'est à dire que son hygrométrie et sa tension de vapeur sont plus faibles. Il est accompagné d'une perte de poids due à l'évaporation de l'eau qui varie dans le même sens.



Perte de poids du ciment en fonction de l'hygrométrie (d'après Lucas).

Fig. 9

Sans entrer dans les détails d'une théorie que nous avons récemment exposée [1] nous pouvons dire que l'explication du mécanisme du retrait se trouve dans la structure même de la pâte de ciment hydraté, mise en compression par les pellicules d'eau absorbée qu'elle contient. Or, la tension de l'eau est d'autant plus grande que l'hygrométrie est plus faible et la compression qu'elle produit dans le squelette donne des déformations élastiques réversibles, et plastiques irréversibles. Mais on voit tout de suite que le phénomène de retrait est directement commandé par l'évaporation et la mise en équilibre des vides intérieurs du ciment avec l'atmosphère ambiante. Cette évaporation en un point déterminé, est d'autant plus lente que le point est plus éloigné de la surface libre. Il en résulte que les parties situées près de la périphérie raccourcissent plus vite que le noyau. Elles peuvent alors se mettre en traction, tandis que le noyau est comprimé. Des fissures se manifestent en surface si l'hygrométrie est trop sèche et que l'on ne prend pas de précautions spéciales d'humidification avant que les résistances aient atteint une valer suffisante.

(1) *L'hermite* — Le retrait des ciments mortiers et bétons. Circulaire F. 37 de l'Institut technique du B. T. P.

Il en résulte encore que le retrait moyen d'une pièce se produit d'autant plus lentement que la pièce est plus volumineuse.

Toutes ces constatations expérimentales sont maintenant interprétées mathématiquement et font l'objet de lois et de formules dont les principales sont les suivantes :

1. — Le retrait est d'autant plus élevé que la tension de vapeur de l'air ambiant est plus faible. Pour les tensions de vapeur relatives θ supérieures à 60 % on trouve que :

$$\Delta : \lambda (1 - \theta)$$

où Δ est le retrait, λ une constante (voir fig. 9)

2. — Dans un mortier ou un béton, le retrait augmente en même temps que le dosage. Si Δ_c est le retrait de la pâte pure, le retrait Δ_b du béton sera :

$$\Delta_b = \frac{\Delta_c}{1 + \alpha \frac{V_a}{V_c}}$$

où V_a et V_c sont les volumes de l'agrégat et du ciment, et dun coefficient dépendant de la quantité d'eau de gâchage et de la nature des agrégats. Pour les bétons courants, on prendra $\alpha = 2{,}4$.

3. — A dosage égal le retrait augmente avec la quantité d'eau de gâchage suivant un raport qui en première approximation peut être pris égal à $\left(\frac{\varepsilon_a}{V_a}\right)^{5/3}$ (voir fig. 10).

4. — Le retrait augmente avec la finesse du ciment.

5. — Tous les sels minéraux connus et mis en solution dans l'eau de gâchage augmentent le retrait ; il en est de même pour les poudres minérales incorporées au ciment.

6. — Le temps nécessaire pour obtenir un retrait moyen déterminé d'une pièce de béton est proportionnel au carré du rapport $\frac{\text{volume}}{\text{surface libre}}$.

A titre d'exemple si une barrette de 5 cm de côté obtient les trois quarts de son retrait total en 80 jours. Il faudra 8.000 jours soit 22 ans pour qu'un poteau de 50 × 50 cm parvienne au rertait moyen.

Le retrait tel que nous venons de l'envisager, suppose qu'il agit sur des pièces libres de toutes liaisons externes ou internes. Dans le bâtiment, la plupart du temps, les éléments de construction ne sont pas libres de se contracter à cause de leurs liaisons récipocres. Il en résulte qu'elles subissent des tensions internes pouvant aller jusqu'à la fissuration ou à la rupture, ainsi que nous le disons plus haut. Considérons par

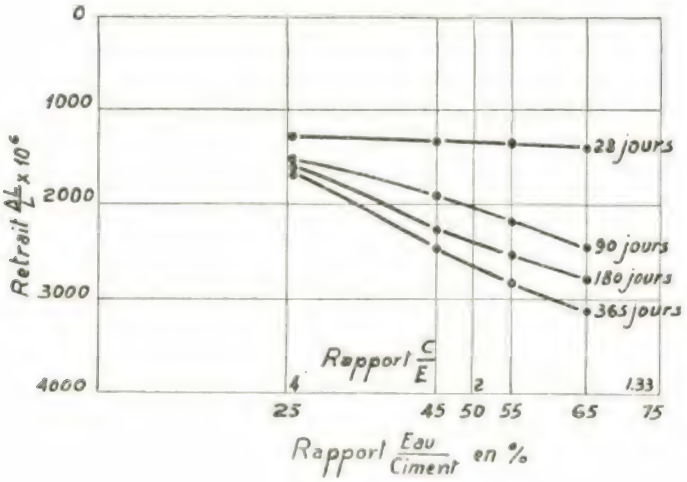


Fig. 10

exemple, un enduit placé sur un mur en maçonnerie. Cet enduit est sollicité par le retrait mais ne peut pas le suivre, car il est lié au mur. Il se met alors en traction et subit par rapport à sa forme libre des allongements élastiques et plastiques.

Si la plasticité est insuffisante et le retrait trop élevé, il se produit une rupture de traction et l'enduit fissure, il craquelle. Il se passe quelque chose d'analogue dans la gaine de béton qui entoure une barre d'acier et la rupture peut alors avoir lieu par glissement de la barre ou par fissuration transversale.

Pour se rendre compte exactement de ce phénomène, nous avons imaginé une expérience qui consiste a mouler deux éprouvettes prismatiques du béton ou du mortier étudié, ces éprouvettes possèdant des têtes élargies aux extrémités. L'une des éprouvettes est laissée dans le moule, l'autre est démoulée. Le moule qui entoure la première s'oppose au retrait, la barrette de béton se met donc en traction sur les têtes élargies et le moule en compression. A l'aide d'extensomètres, on mesure la compression dans le moule et l'on en déduit le taux de travail de mise en traction spontanée du béton.

Au bout d'un temps plus ou moins long, l'éprouvette fissure. La courbe de mise en traction étant tracée, on en tire la charge de rupture. Il reste l'éprouvette témoin sur laquelle nous avons mesuré entre temps, le retrait spontané et qui nous donne le jour de la rupture, l'allongement correspondant. Nous sommes donc en possession de trois chiffres : charge de rupture, allongement de rupture et âge de rupture sous longueur constante pour l'hygrométrie dans laquelle ont été conservées les éprouvettes.

Cette expérience, un peu compliquée peut être remplacée par un essai beaucoup plus simple et facilement réalisable au chantier. Il consiste à prendre un disque d'acier de 20 cm de diamètre par exemple et de 5 cm d'épaisseur, ou un anneau suffisamment épais. Ce disque étant posé à plat sur une tôle bien dressée, on coule tout autour une couronne de 5 cm d'épaisseur (ces dimensions peuvent être réduites ou augmentées à volonté). On démoule alors la paroi extérieure seule de la couronne après début de prise et on l'observe de temps à autre. Au bout d'un nombre de jours quelconque, on apercoit une fissure. Ce nombre de jours est le temps de fissuration sous longueur constante qui peut éventuellement être rapporté au retrait au même âge d'une éprouvette témoin et à la résistance à la traction mesurée aussitôt. Ce temps de fissuration peut passer de 24 heures à une durée illimitée et peut très bien servir à caractériser un béton.

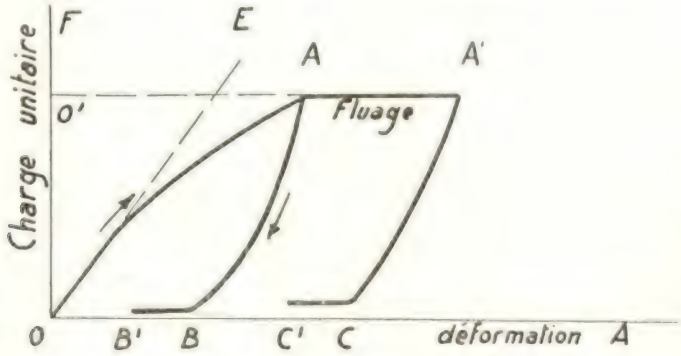


Fig. 11

La déformation du béton

Prenons une éprouvette de béton prismatique par exemple, et chargeons là d'une manière uniforme et progressive. Mesurons les déformations correspondant à ce chargement et sur deux axes rectangulaires portons en ordonnées les efforts unitaire F et en abscisses les déformations. Nous obtenons ainsi le diagramme de déformation. Celui-ci est constitué (fig. 11) par une courbe O A.

Déchargeons maintenant l'éprouvette, nous obtenons une nouvelle courbe A B.

O' A est la déformation totale pour la charge O O' et pour la vitesse de chargement employée.

O B est la déformation résiduelle instantanée.

(O' A — O B) est la déformation élastique instantanée.

Laissons maintenant l'éprouvette au repos. Nous constatons que toute question de retrait étant mise à part, elle continue à raccourcir et, au bout d'un temps assez long, la déformation résiduelle tend vers une valeur O B' qui est la déformation permanente ou déformation plastique. La grandeur de (O' A — O B) est la déformation élastique totale. En générale, si le chargement est rapide (quelques minutes), B B' est petit et peut être négligé devant O B. Mais, devant ces multiples déformations qui se superposent, que nous devons appeler «Module d'élasticité?». Il est en réalité multiple et l'on peut en distinguer en premier lieu plusieurs:

La pente de la droite A B donne le *module d'élasticité instantané apparent* entre la charge correspondant à O' et zéro.

La pente de la droite A B' donne le *module d'élasticité apparente différé* pour la même charge.

La pente de la droite O A donne le *module de déformation apparent instantané* pour la même charge. Ce n'est pas un module d'élasticité puisqu'il comprend des déformations élastiques que nous avons éliminées dans la courbe de déchargement.

La pente de droite O E, tangente à l'origine de la courbe de déformation est généralement considerée comme le module d'élasticité vrai. Cependant, il n'en est pas tout à fait ainsi. En réalité, on peut obtenir le *module d'élasticité vrai sous charge nulle,* en appliquant un grand nombre de fois une très faible charge afin d'éliminer les déformations plastiques qui peuvent subsister, et en déterminant la déformation correspondant. Pratiquement, on opère par une méthode acoustique qui consiste à faire vibrer longitudinalement un prisme de béton et à déterminer la fréquence propre de résonance. On opère en attaquant une extrémité par un haut-parleur à l'autre extrémité un «pick-up». Pour une certaine frequence do haut-parleur, le pick-up passe par une amplitude maximum que l'on détecte par un oeil électrique de rádio. Ce maximum signifie que le prisme résonne. Un calcul simple permet de connaitre alors la vitesse de propagation du son dans le béton, d'où connaissant la densité, on tire le module.

L'intérêt de la mesure du module suivant ce procédé est que l'on a affaire à un essai non destructif qui peut être répété autant de fois qu'il est nécessaire. En outre, la variation du coefficient d'élasticité est corrélative à la variation de compacité d'une part, et de la résistance de l'autre. On peut, de cette manière suivre aisément l'accroissement ou la diminution de résistance d'une manière trés économique. Il y a là, quelque chose d'analogue à l'opération que se pratique souvent sur le chantier, et qui consiste à sonner le béton à laide d'un marteau. C'est d'ailleurs jusqu'ici nous avons cherché à étendre ce procédé de mesure du module d'élasticité à un contrôle en oeuvre de la qualité du béton. Deux «pick-up» sont placés à la surface de la pièce à une certaine distance l'un de l'autre et en ligne avec ces appareils on provoque un choc quelconque. L'onde sonore produite par le choc est détectée par le premier «pick-up», puis un court instant après, par le second. Si l'on mesure exactement avec un appareillage approprié le temps qui sépare les deux impulsions, on en déduit la vitesse de propagation de l'onde sonore, puis le module. C'est donc à une espèce de «Radar» à béton que nous avons affaire, et qui lorsqu'il sera pratiquement mis au point pourra rendre aux constructeurs de grands services.

Disons pour illustrer cet exposé que les modules élastiques du béton sont compris entre 2500 et 3500 kg/mm^2 à partir de 7 jours, et puis peuvent augmenter jusqu'à 4500 pour les qualités exceptionelles.

Nous avons vu que l'ensemble de la déformation du béton comportait une partie élastique reversible que nous venons d'examiner et une partie plastique irréversible. Cette dernière comporte une fraction instan-

tanée et une fraction différée. Si en effet, nous maintenons la charge en A pendant une longue durée, nous constatons que la déformation se poursuit pendant un temps très long, soit pendant plusieurs années. Elle est pratiquement arrêtée après 3 ans de chargement pour une mise en charge faite avant 2 mois d'âge. Mais pour évaluer la valeur de cette déformation lente, appelée *fluage* ou *écoulement*, il faut que nous possèdions une éprouvette témoin gâchée en même temps que la première, sur laquelle nous ferons des mesures comparatives. Il importe en effect, de déduire de la déformation sous charge la déformation spontanée qui a lieu sans charge (voir fig. 12). Si après une durée de chargement, l'éprouvette est déchargée on observe une courbe de déchargement A'C et une déformation résiduelle instantanée OC. Mais cette déformation residuelle n'est pas fixe, elle diminue pendant un certain temps et tend vers une limite OC'.

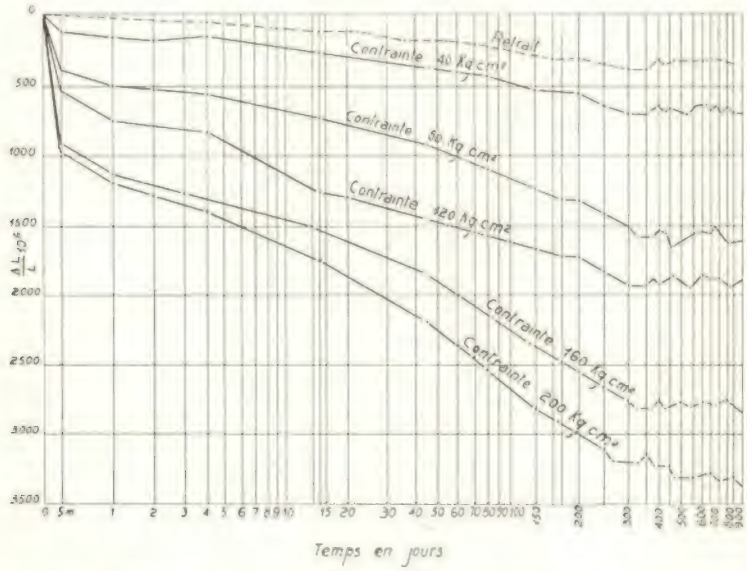
La déformation plastique finale d'un béton après un chagement très long, est une grandeur bien définie qui possède un certain nombre de propriétés simples:

Elle dépend de la température et principalement de l'hygrométrie de l'atmosphère ambiante. Elle est d'autant plus élevée que l'atmosphère est plus sèche et suit ainsi une loi analogue au retrait à laquelle elle est liée.

Elle dépend de la charge appliquée et jusqu'à un taux de travail relativement élevé lui est sensiblement proportionnelle (fig. 12).

Elle diminue quand l'âge du béton au moment du chargement croit.

Si nous appelons Δ_R le retrait jusqu'à stabilisation d'une éprouvette conservée à l'eau jusqu'à l'âge du chargement, puis mise dans la même atmosphère. Si F est la charge appliquée et E le module d'élasticité instantanée dynamique du béton, on peut écrire



Déformations totales des éprouvettes soumises à une compression constante. Retrait non déduit. Age de la mise en charge : 50 jours (d'après les essais de M. Le Camus, L. B. T. P.).

Fig. 12

que la déformation plastique Δ^P répond approximativement à l'expression :

$$\Delta_p = \frac{F}{E}\left(K_1 + K_2\,\Delta_R\right)$$

Pour les bétons que nous avons essayés, nous avons trouvé K_1 voisin de l'unité et K_2 voisin de $10.^4$ soit 10.000. Supposons par exemple un béton qui, entre l'âge de chargement et la stabilisation ait un retrait de

300×10^{-6} soit 0,3 mm par mètre. La déformation plastique sera.

$$\Delta_p = \frac{F}{E}\left(1 + 10^4 \times 300 \times 10^{-6}\right) = 4\,\frac{F}{E}$$

La déformation plastique est, pour ce béton égale à quatre fois la déformation élastique.

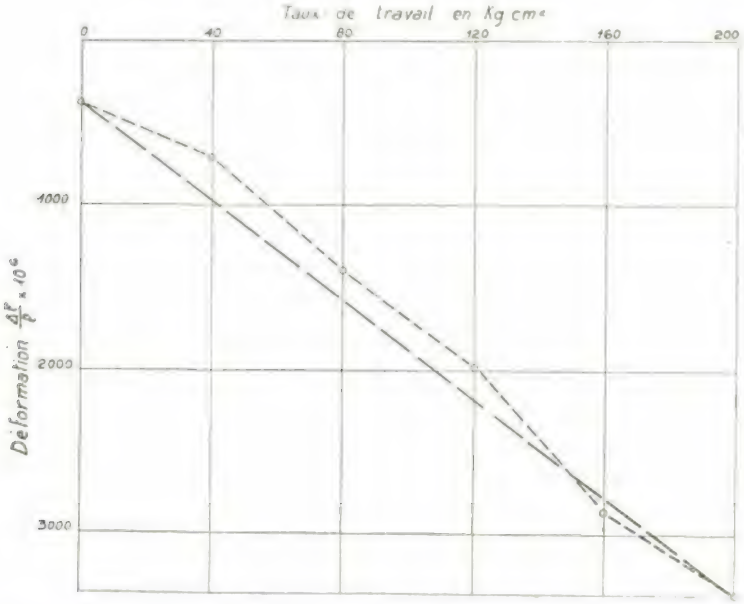
La déformation totale est:

$$\Delta_T = \frac{F}{E}\left(1 + K_1\right) + \Delta_R\left(1 + K_2\,\frac{F}{E}\right)$$

elle comprend un terme indépendant du retrait et un terme qui augmente avec le retrait. On voit donc que toute déformation du béton peut être calculée à partir de la déformation élastique d'une part et le retrait d'autre part, et que ce dernier varie avec l'hygrométrie suivant une loi simple puisqu'il est proportionnel à $(1 - \theta)$. Les lois générales de la déformations du béton peuvent être exprimées d'une manière simple qu'il est facile de faire entrer dans les calcules aussi bien que les lois de l'élasticité.

La rupture, le durcissement et le chauffage du béton

La rupture du béton peut avoir lieu sous chacun des genres de sollicitations auquel il se trouve soumis, mais on s'occupe plus généralement de la traction et de la compression. Ces résistances croissent avec l'âge depuis le début de la prise, et pendant plusieurs années. Cette variation est liée au phénomène chimique du durcissement du liant, c'est pourquoi elle en a été prise comme critère. On peut d'ailleurs avec la même qualité de liant hydráulique, obtenir des durcissements plus ou moins rapides suivant la température ambiante. En dessous de 4°, la vitesse de durcissement devient extrêmement lente et la définition de cette vitesse qui sert à caractériser un liant se fait a 18°. Lorsqu'on cherche à accélérer le durcissement par chauffage, on peut arriver à assurer en quelques heures une résistance équivalente à celle que l'on obtiendrait après plusieurs jours de conservation normale. Il faut cependant prendre garde à éviter l'évaporation de l'eau de gâchage, et il est indispensable de réaliser le chauffage en atmos-



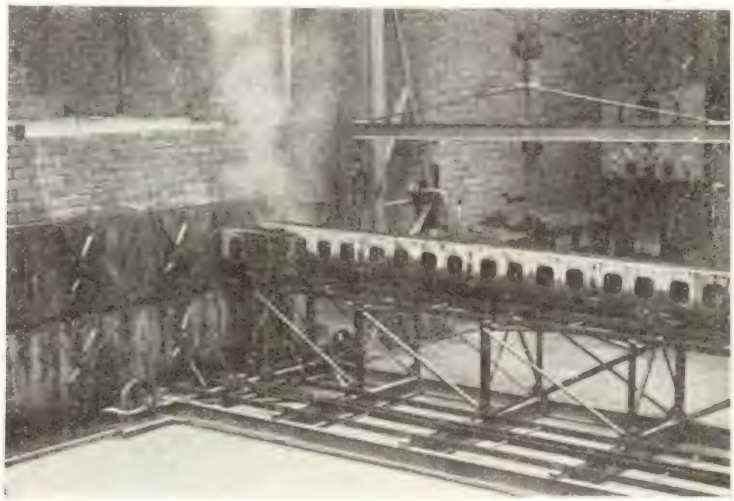
Déformation totale, après 800 jours, du béton de la figure précédente.

Fig. 13

phére saturée d'humidité. Pour la pression atmosphérique, la température qui semble convenir le mieux est de 80°, et la durée de chauffage doit atteindre 8 ou 10 heures, si l'on veut obtenir des résistances équivalentes à une semaine de durcissement normal. On peut diminuer cette durée jusqu'à 2 ou 3 heures par un traitement à l'autoclave sous pression de vapeur de plusieurs atmosphères, on bénéficie d'ailleurs d'un accroissement supplémentaire de résistance dû à la réaction chimique qui se produit entre la chaux du ciment et la silice des agrégats connue sous le nom d'effet «Silico-calcaire» et qui est utilisé dans la fabrication des briques du même nom. Disons encore que le début de chauffage doit être antérieur au début de prise si l'on veut éviter un gonflement ultérieur du béton et une chute de qualité.

L'étude détaillée du chauffage a été entreprise au Laboratoire par M. Brocart qui fera d'ici très peu de temps une publication sur ce sujet. Elle rendra certainement de grands services aux personnes désireuses d'employer un traitement thermique du béton, et qui risquent sans être avertis, d'aller au devant de graves mécomptes.

Si une température modérée accélère le durcissement du béton, son maintien à température elevée a pour effet de faire baisser les résistances d'nne manière sensible. Ceci est du à une deshydratation progressive des cristaux, à des transformations chimique diverses et à une fissuration interne due en premier lieu à un retrait exagéré, et à des dilatations non uniformes, mais qui se traduit bientôt par un gonflement. L'étude de l'action des températures élevées a été fait au laboratoire par M. Lepingle. Il a trouvé les resultats suivants après quatre heures de cuisson:



Etuve de durcissement de poutrelles moulées en ciment. La pièce est en cours de chargement dans l'atmosphère chaude et humide de l'étuve (vapeur saturée à 80₀). *Doc. S. T. U. P.*
Fig. 14

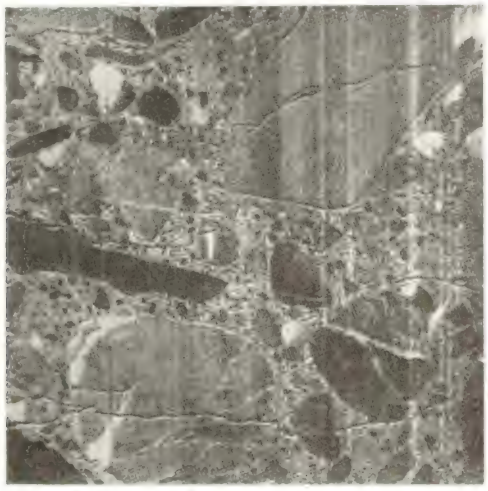
Température	Baisse de résistance en	
	compression	traction
100°	10 — 15 %	10 — 15 %
200°	20 — 30 %	30 %
300°	30 — 45 %	40 — 45 %
400°	40 — 65 %	55 — 65 %
500°	50 — 80 %	70 — 80 %
600°	60 — 85 %	85 — 90 %
800°	65 — 95 %	95 %

Les baisses de résistance les plus élévées correspondent à un béton jeune (7 jours)

et les plus faibles à un béton vieux. En gros on peut dire que le béton perd 10 % de sa résistance par 100°. On a pu remarquer cependant que le béton se raffermissait sensiblement après cuisson par une conservation dans l'eau ou dans l'air humide.

Si la résistance statique des bétons est assez bien connue, il n'en est pas de même de la résistance dynamique aux efforts répétés. Rappelons que l'on appelle endurance on résistance à la fatigue d'un solide, son comportement sous l'action d'efforts répétés un certain nombre de fois, mais où la grandeur de ces efforts est inférieure à la charge permettant d'obtenir la rupture en une seule fois. La limite de fatigue ou limite d'endurance est l'amplitude de charge maximum qui peut être répétée indéfiniment sans conduire à la rupture. Pour le béton,

Corps de l'ouvrage



Parement

Doc. «Bulletin du ciments» E. G. Portland.

Fissures parallèles ou parement, provoqués par le gonflement de la glace dans le béton gelé. Les graviers ne sont pas déchaussés mais cisaillés. (Il y a également dans cet exemple un effet de dilatation relative des ciments à différentes profondeurs, à températures différentes).

Fig. 15

les travaux faits au laboratoire par M. Le Camus et moi même ont montré que cette limite d'endurance était comprise entre 50 et 70 % de la charge de rupture statitique mesurée sur la même éprouvette. En d'autres termes, si cette charge de rupture est R on peut répéter indéfiniment l'application d'une charge R/2 avant que la rupture se produise.

Ceci se traduit pour le constructeur à un principe simple qui conduit à multiplier les efforts dynamiques par deux pour les faire entrer dans le calcul au même titre que les charges statiques et avec le même coefficient de sécurité.

Propriétés physiques du béton

Les propriétés physiques du béton sont assez mal connues en général. Son coefficient de dilatation termique par exemple est prétend-on, voisin de celui de l'acier. Rien ne prouve que ceci soit exact, et aucune expérience sérieuse n'est venu le confirmer. La raison est dans la difficulté de réaliser une mesure de dilatation capable d'éliminer le retrait qui se produit sous l'influence de l'évaporation lorsque la température augmente et puis vient se déduire de la dilatation réelle. Pour combler cette lacune, nous avons construit un appareil où la dilatation est mesurée d'une part dans l'eau, et d'autre part, dans le mercure. Il faut espérer que les essais qui doivent commencer dans un très court délai donneront des résultats incontestables.

La *conductibilité thermique* par contre est facile à mesurer sur un matériau sec. Le coefficient de conductibilité varie beaucoup avec la porosité et la composition. Pour une pâte pure de ciment, il est aux environs de (50°), de 0,0014 en C. cm² sec. Pour les bétons pleins il varie avec l'humidité et la qualité de l'agrégat. Il est généralement compris entre 0,0030 et 0,0040 soit deux à trois fois celui de la pâte pure.

La *conductibilité électrique* a été étudiée par M. Barrée et Decoux. Elle est extrêmement variable avec la composition et surtout avec l'humidité. Pour un béton courant 400/800 et 300 kg de dosage, elle a varié entre 10^4 et 10^7 ohm/cm/cm² entre l'âge de 1 jour et celui de 800 jours. Soit une augmentation de plus de 1000 fois sa valeur. Après cette période de séchage, l'humidification des éprouvettes a produit un retour de la résistivité à sa valeur initiale, soit 10^4 ohm/cm/cm².

La perméabilité à l'eau et aux différents liquides est de première importance au point

de vue pratique. La perméabilité à l'eau s'exprime par la quantité d'eau qui traverse la surface unité sous l'épaisseur unité pendant l'unité de temps.

Si les choses étaient si faciles à mesurer, la technique serait très simple; mais pour la perméabilité à l'eau, on se trouve en présence de deux anomalies:

1°) La perméabilité croit plus vite que la pression.

2°) L'eau a pour effet, par gonflement du béton, de le rendre moins perméable et par dissolution des sels solubles et de la chaux en particulier, de transporter ces sels dans le sens du courant. Il en résulte que la perméabilité diminue avec le temps, lorsque le liquide est maintenu sous pression. Il y a colmatage partiel des pores.

Voici d'ailleurs quelques exemples qui fixeront les idées:

Béton de réservoir à haute compacité dosé à 300 kg de ciment au m³. Age 3 mois: perméabilités.
après conservation à l'air

sous 1	kg pendant 2 jours:	0
sous 1,5	kg pendant 2 jours:	0
sous 2	kg pendant 2 jours:	0,10 cm³. cm./cm.² heure
sous 5	kg pendant 3 jours:	0,12 cm². cm. cm². heure

après conservation à l'eau.:

sous 1	kg pendant 2 jours:	0
sous 1,5	kg pendant 2 jours:	0
sous 2	kg pendant 2 jours:	0,025
sous 5	kg pendant 3 jours:	0,10

Pour une série de bétons courants, nous avons trouvé sous 5 kg, des perméabilités variant entre: 0,30 et 0,01 comme valeurs unitaires en cm³. cm. cm². heure.

La perméabilité du béton à l'essence est beaucoup plus grande que celle de l'eau, environ 10 fois plus à cause de la plus faible viscosité du liquide.

Il serait intéressant de relier la perméabilité du béton et sa porosité, rapport entre le volume des vides et le volume total ou à sa *capillarité*. Mais toutes ces tentatives faites dans ce sens jusqu'à présent ont échoéu. La capillarité est une propriété intéressante à connaitre car elle indique quel peut être «l'effet buvard» du béton, capable de pomper l'eau par sa partie inférieure plongée dans l'eau. On réalise d'ailleurs l'expérience en plaçant un prisme béton le pied dans un vase contenant quelques millimètres d'eau. On voit alors cette eau faire l'ascension du béton jusqu'à une hauteur variable suivant la contexture maie difficile à apprécier. Il parait plus simpls, par des pesées périodiques de mesurer l'augmentation de poids P en fonction du temps qui est représentée par une fonction:

$$P = K S \sqrt{t}$$

où S est la section verticale, t le temps et K un coefficient caractéristique que l'on détermine de cette manière et que l'on nome coefficient de capillarité. Il est très variabe d'un béton à l'autre et tout ce que l'on peut dire est qu'à porosité égale, il est d'autant plus grand que les vides sont plus petits. Pour un béton léger type caverneux, où les vides ont de fortes dimensions, il est très faible bien que ce genre de béton présente en général une grande perméabilité.

Conclusions — Le contrôle du béton

Nous avons vu depuis le début de cet article que le béton est un corps solide aux propriétés extrêmement variables et qui, suivant sa composition et sa fabrication peut présenter des propriétés fort différentes. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer de méthodes aussi simples que possible, susceptibles d'être employées au chantier, à l'ntreprise ou dans un laboratoire élémentaire et capables de rensseigner à chaque instant l'utilisateur sur les qualités de sa fabrication. Il pourra de cette manière le rectifier ou le faire évoluer dans le sens désirable.

La première partie du travail doit consister dans l'étude des agrégats, leur teneur en matières diverses argileuses ou terreuses et leur analyse granulométrique. Puis la recherche de la composition granulométrique optimum d'après les méthodes courantes.

Il est nécessaire d'autre parte, d'étudier le ciment afin de reconnaitre ses qualités

chimiques et mécaniques et constater s'il répond aux qualités escomptées. Ce contrôle de ciment comporte une suite d'essais normalisés : gâchage d'un mortier plastique au sable de Leucate, mesure du temps de prise à l'aiguille de Vicat, confection d'éprouvettes de compression et éventuellement de traction qui sont conservées dans l'eau et essayées à différents âges, mesure du gonflement à chaud pour déceler la présence d'expansifs. Les méthodes actuelles d'essais sont malheureusement imparfaites et ne répondent pas toujours d'une façon suffisante à la question posée. Les résultats des essais mécaniques sont entachés d'une dispersion qui vient du mode de gâchage, et la granulométrie du mortier normal ne permet pas de prévois comme il serait souhaitable, la résistance d'un béton convenablement réalisé. Il est d'ailleurs question de remplacer l'agrégat trop uniforme du sable de Leucate par une granulométrie plus continue qui serait une sorte de microbéton. Des études sont actuellement en cours sur la mécanisation complète des opérations de malaxage et de mise en place du mortier dans les éprouvettes qui élimineront une partie de la dispersion due au fauteur manuel. Enfin, peuvent être ajoutées quelques mesures complémentaires telles que l'essai de retrait, l'essai de flexion, sur une barrete, l'essai du gonflement à l'autoclave ; ce dernier étant fait dans le but de mettre en évidence éventuellement une expansion retardée susceptible d'expliquer la chute de résistance de certains bétons au delà de 28 Jours.

Le ciment et l'agrégat étant connus, il reste à étudier le béton frais et ses propriétés de mise en oeuvre. La première mesure doit consister dans l'examen du malaxage et de l'homogénéité du produit obtenu. La composition étant fixée, il reste à savoir dans quelle mesure elle est observée et ceci est à notre avis, le contrôle le plus important et le plus efficace, car il donne des résultats immédiats. Des mesures de résistance dont les résultats ne sont connus qu'à longue échéance ne permettent pas de faire une correction rapide, de passer à une variation brusque de composition. Nous avons donc imaginé un dispositif très simple qui permet de faire en quelques minutes l'analyse d'un béton frais et de voir de combien elle s'écart de la composition optimum en granulométrie des agrégats, eau et dosage. Cette analyse effectuée à la sortie de la bétonnière à l'arrivée au coffrage et dans le coffrage même, montrera si les écarts sont acceptables, s'ils ne dépassent pas par exemple 10 %.

Le béton devra, par ailleurs, être examiné quant à sa ségrégabilité et à son coefficient de frottement interne, grâce aux procédés qui ont été exposés plus haut. Ces mesures fixeront sur la workability qui peut, à la rigueur, être évaluée approximativement par l'essai au cône d'Abrams ou à la table à secousses.

Les essais qui restent à faire ont trait au béton durci ou en cours de durcissement. Ce sont la fissurabilité, essai très simple comme nous avons pu le voir, la résistance, la perméabilité et la capillarité. Les essais de résistance pourront alors être beaucoup moins nombreux qu'on le fait habituellement, puisque la mesure de l'homogénéité du béton frais nous aura renseigné sur la constance de sa qualité. L'essai de compression est généralement fait sur un cube de 15 ou 20 cm de côté que l'on envoie au laboratoire pour écrasement. A ce propos, il est bon de savoir qu'une résistance unitaire à l'écrasement sur cube n'est pas la véritable résistance à la compression. Le cube entre les faces de la presse se trouve en effet, dans un état de sollicitation complexe comprenant une sorte de frettage latéral des extrémités du au frottement des plateaux. Les comparaisons que nous avons faites nous ont montré que la véritable résistance à la compression que l'on peut faire entrer dans le calcul d'un pilier par exemple est de 10 à 20 % inférieure à celle donnée par le cube.

L'essai mécanique le plus simple à réaliser sur chantier est la rupture par flexion d'un prisme, car elle ne necessite qu'une machine de faible puissance et beaucoup plus économique qu'une presse. Plusieurs types de machines de ce genre existent dont le plus précis est celui qui a été étudié au

laboratoire et qui dispose d'un dynamomètre pendulaire. L'éprouvette a généralement 7×7 cm de section et 28 cm de longueur, elle est soumise sur les 2/3 de sa longueur à un moment de flexion constant. De la connaissance de ce moment, on déduit la résistance à la traction par une formule semi-empirique.

$$R_T = 3{,}6 \frac{M}{B^3}$$

où B est le côté du prisme soit 7 cm dans le cas général. Cette formule se montre pratiquement satisfaisante à 10 % près au maximum comme l'ont montré les essais comparatifs nombreux que nous avons faits il y a quelques années entre les essais de flexion sur prismes et les essais sur cylindres tendus soumis à une traction pure (éprouvettes champignon). D'après les études de R. Feret la résistance à la traction R_T et la résistance à la compression R_c sont reliées par une formule empirique simple :

$$R_T = 2\sqrt{R_c} - 9 \text{ soit } R_c = \left(\frac{R_T + 9}{2}\right)^2$$

Le chantier a donc la possibilité d'évaluer, grâce à un essai simple la résistance à la compression du béton.

Il reste enfin le contrôle en oeuvre. Celui-ci peut se faire grâce à des prélèvements de témoins laissés en saillie pendant le bétonnage qui seront taillés em laboratoire, essayés mécaniquement et dont l'analyse chimique permetra éventuellement de retrouver le dosage et même la composition granulométrique.

Lorsque la méthode de sondage acoustique actuellement au cours de mise au point sera définitivement industrialisée, on disposera comme d'un moyen de reconnaissance par la mesure du module d'élasticité et la recherche des défauts et des irrégularités de composition.

La multiplicité des contrôles que nous venons de citer peut paraitre exagérée, mais la plupart ne sont en réalité que des mesures initiales qui sont principalement destinées à la recherche de la meilleure composition. Celle-ci étant trouvée une fois pour toutes, la mesure la plus efficace est celle de la régularité mesure simple et qui doit, par sa simplicité même, pouvoir être rapidement introduite dans la pratique des chantiers.

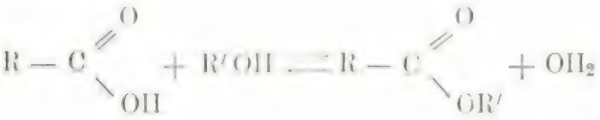
Processos unitários da química orgânica

ESTERIFICAÇÃO

PELO ENG.º QUÍMICO-INDUSTRIAL MANUEL CHAGAS ROQUETTE
(Assistente I. S. T.)

C D 661.73

A esterificação no sentido geral do termo, é sinónimo de obtenção de ésteres. Esta preparação pode fazer-se por dupla decomposição entre um ácido orgânico ou mineral e um álcool, ou mais raramente, um fenol (esterificação pròpriamente dita), por reacção entre um anidrido de ácido e um álcool ou poliol (é o caso do acetato de celulose e dos ftalatos), por adição de hidrácidos (cloreto de etilo, brometo de etilo), por adição de ácidos orgânicos a hidrocarbonetos não saturados (acetato de vinilo) ... Neste estudo, será considerada a esterificação no sentido restrito de reacção equilibrada entre um ácido orgânico e um álcool (monol ou poliol):



Este critério justifica-se se atendermos que os outros tipos de preparação de ésteres, ou fazem parte de processos unitários diferentes da esterificação pròpriamente dita (por exemplo, a obtenção de halogenetos de alquilo, por adição de alcenas é uma halogenação), ou representam casos particulares e mais simples da esterificação (emprego de anidridos de ácido).

A esterificação é uma reacção equilibrada e lenta. Além da necessidade dum rendimento elevado, é preciso que esse rendimento seja atingido em pouco tempo. O estudo estático e, principalmente, cinético deste processo tem aplicação obrigatória na prática.

1 — Mecanismo de reacção

A esterificação é uma reacção equilibrada:

$$\text{álcool} + \text{ácido} \rightleftarrows \text{éster} + \text{água}$$

A sua constante de equilíbrio é dada por:

$$K_c = \frac{C\ \text{éster} \,.\, C\ \text{água}}{C\ \text{ácido} \,.\, C\ \text{álcool}}$$

Experiências clássicas, realizadas por Berthelot e St. Giles, do equilíbrio não catalizado:

$$C_2H_5OH + CH_3CO_2H \rightleftarrows CH_3CO_2C_2H_5 + OH_2$$

para quantidades iniciais equimoleculares de álcool etílico e ácido acético conduziram aos seguintes valores de rendimentos: ao fim de 200 h, 65,6 %, a 100° C; 66,5 %, a 170° C; 67,3 %, a 200° C. À temperatura ambiente o rendimento verificou-se ser inferior a 10^{-4}, após 200 h, e só atingiu o valor de 65,2 %, passados 15 anos.

A esterificação, sob o ponto de vista estático, é tanto mais difícil quanto maior for o peso molecular do álcool.

Vejamos os valores de K_c para a esterificação do ácido acético com os seguintes monois (a 155° C):

metanol	5,24
etanol	3,94
propanol	4,07
butanol	4,24
álcool benzílico	2,39
mentol	2,55
fenol	0,0089
timol	0,0192

O valor baixo das constantes do fenol e do timol explica-se pelo seu comportamento básico.

Mais se salienta esta maior facilidade da esterificação para os alcoois de menor peso molecular, ao considerar os rendimentos após uma hora (a 155° C), quantidades equimoleculares iniciais de ácido acético e de:

metanol	56 %
etanol	47 %
propanol	47 %
butanol	47 %
mentol	15 %
fenol	1,5 %
timol	0,6 %

Partindo de quantidades equimoleculares de ácido acético e dum monol, o rendimento máximo, a 155° C, é atingido, em média, ao fim de 100 a 200 h, e apresenta valores oscilando entre 50 a 70 %.

Por outro lado, a esterificação é, em geral, mais fácil nos álcoois primários do que nos secundários, e nestes mais do que nos terciários.

Para um dado álcool, a constante de equilíbrio, é tanto mais elevada, quanto maior é o peso molecular do ácido orgânico; em compensação o rendimento horário decresce com o peso da molécula do ácido. Assim, para a esterificação do álcool isobutílico (a 155° C) (quantidades equimoleculares iniciais):

	Rendimento ao fim de 1 hora	Rendimento estático limite
Ácido fórmico . . .	62 %	64 %
Ácido acético	44 %	67 %
Ácido propiónico . .	41 %	68 %
Ácido butírico . . .	33 %	69 %
Ácido benzóico . . .	9 %	73 %

Nos ácidos superiores o equilíbrio chega a levar 500 a 600 horas a ser atingido.

Do que atrás fica exposto se conclue que a obtenção de elevados rendimentos neste processo, é ao mesmo tempo um problema de estática e, principalmente, de cinética.

* * *

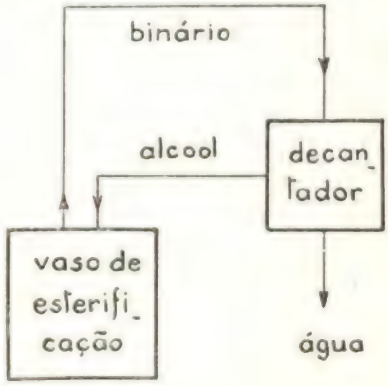
Sob o ponto de vista estático os factores susceptíveis de melhorar a esterificação são:

a) emprego dum excesso de álcool
b) emprego dum excesso de água
c) remoção da água
d) remoção do ester.

Emprego dum excesso de álcool

Quando se esterifica um ácido relativamente pouco volátil (ácido succínico, ácido láctico) com um álcool de baixo peso molecular (etanol, butanol), emprega-se grande excesso de álcool (3 e 4 vezes a quantidade teórica) e por simples destilação consegue libertar-se o álcool e a água. O álcool forma geralmente binários com a água, os quais, uma vez condensados se separam em 2 camadas: a inferior é constituída principalmente por água; a superior, bastante rica em álcool é lançada novamente no vaso de esterificação.

Emprega-se nesta técnica, simultâneamente, o efeito da romoção de água.



Mesmo para ácidos voláteis (ácido acético, por exemplo), o emprego do excesso de álcool é de consideror, no laboratório. Assim, partindo de 3 moles de etanol e de 1 de ácido acético ($K_c \approx 4$), pode alcançar-se o rendimento de 90 %.

$$\frac{x^2}{(1-x)\ (3-x)} \approx 4 \qquad x \approx 0{,}9$$

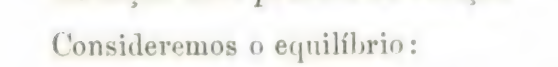
Emprego dum excesso de água

Na esterificação dum poliol (de elevado ponto de ebulição) e com um ácido volátil, emprega-se este último em excesso.

Concluindo: o reagente que se emprega em excesso, é sempre o mais volátil.

Remoção dum produto de reacção

Consideremos o equilíbrio:



$$CH_3CO_2H + C_2H_5OH \rightleftarrows CH_3CO_2C_2H_5 + OH_2$$

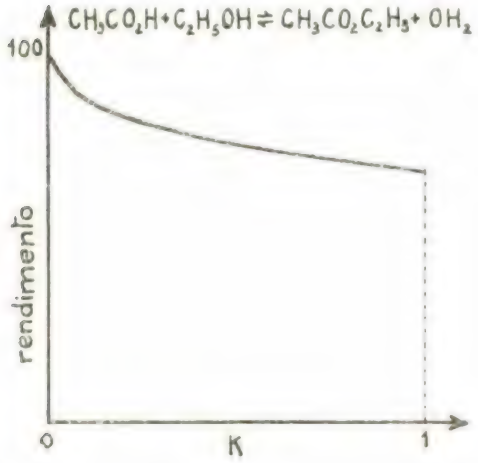
$$K_c \approx 4$$

Suponhamos que se parte de quantidades iniciais equimoleculares de ácido e de álcool; seja x o rendimento da reacção e admitamos que, por qualquer processo, conseguimos eliminar por cada mole dum dos produtos da reacção, $1 - K$ moles do outro produto ($K < 1$):

$$4 = \frac{K\,x^2}{(1-x)^2} \qquad \sqrt{K}\,.\,x = 2\,(1-x)$$

a que corresponde a seguinte variação do rendimento (em %) com os valores de K:

K	0	0,1	0,3	0,5	0,7	1
$\sqrt{K}$	0	0,316	0,549	0,706	0,836	1
%	100	86,2	78,2	74,0	70,6	66,6



Donde se conclue a grande influência que tem no rendimento da esterificação, a eliminação dum dos produtos da reacção (água ou éster), principalmente, quando se elimina mais de metade do produto considerado.

Eliminação da água

Quando o ponto de ebulição do alcool e do ácido (por exemplo, na esterificação da glicerina com o ácido esteárico) é suficientemente elevado, a água elimina-se por simples destilação à medida que se vai formando.

No laboratório adicionam-se certos dissolventes não misciveis com a água e de baixo ponto de ebulição (benzeno, clorofórmio, tolueno, tetracloreto de carbono, dicloroetana) que arrastam, por destilação, a água que se forma durante a esterificação. O condensado separa-se em 2 camadas, uma superior, rica em dissolvente, alcool e éster, que retorna ao vaso de reacção, e uma camada inferior, rica em água. Técnica semelhante se aplica, industrialmente, na preparação dos ésteres do butanol. Sòmente, neste caso, o agente de arrastamento é o próprio alcool, que forma com a água e o éster, um ternário.

No caso do acetato de butilo, o ternário, que ferve a 89, 4°C (ponto de ebulição inferior ao dos possíveis binários) tem a seguinte composição:

éster 35,3% alcool 27,4% água 37,3%

O ternário, uma vez condensado, separa-se em 2 camadas:

camada superior 80,5% éster 13,4% butanol 6,1% água
camada inferior 1,9% éster 1,7% butanol 96,4% água.

A camada inferior corresponde a cerca de 1/4 do peso total do ternário. Consegue-se, assim, eliminar

$$96{,}4 \times \frac{1}{4} = 24{,}1$$

da água que existia em 100 unidades de peso do ternário. O processo é contínuo.

Veremos adiante, que, recorrendo à destilação dos azeotrópicos ternários, na produção de ésteres de alcoois propilico, butílico e superiores, se pode também eliminar a água, duma maneira contínua, aumentando o rendimento.

Eliminação do éster

É um processo empregado na obtenção de ésteres de ácidos voláteis, e do metanol e etanol, em que se formam misturas azeotrópicas ternárias de éster-alcool-água, e em que a proporção do éster (em equivalentes) é superior à da água. Estes ternários têm ponto de ebulição inferior aos dos constituintes do sistema, e aos dos outros possíveis binários (éster-alcool; éster-água). Pode ainda suceder que a diferença entre os pontos de ebulição do ternário e do binário éster-água, seja tão pequena (por vezes, décimos de °C), que não haja possibilidade duma separação perfeita, Este facto não é inconveniente, visto que a proporção de água no binário éster-água, é normalmente muito inferior à do éster.

Utilização de misturas azeotrópicas ternárias e binárias

A utilização dos azeotrópicos na esterificação, no caso particular de ácidos e alcoois voláteis, reduz este processo unitário a um problema de destilação eficiente.

O ácido, alcool e éster, formam um ternário entre si, e binários alcool-éster e água-éster. O ternário tem sempre ponto de ebulição inferior, ainda que muito próximo do binário água-éster. O binário éster-alcool ferve a temperatura superior.

Se a quantidade de água eliminada pelo ternário éster-água-alcool é inferior à de éster arrastado, o equilíbrio desloca-se devido à remoção deste último.

Assim, da preparação do acetato de etilo temos a considerar

ternário éster-alcool-água	pe 70,3°C
binário éster-água	pe 70,4°C
binário éster-alcool	pe 71,8°C

Numa instalação bastante potente de destilação, em que se consiga manter a temperatura de 70,3°C na cabeça da coluna de refluxo, recolher-se-à apenas o ternário. No entanto, normalmente, este ternário virá misturado com o binário éster-água. Pode remover-se da mistura o alcool por lavagem, ou a água por secagem (menos usado). Quando se proceder a nova destilação do condensado, passará primeiro o ternário ester-alcool-água, depois o binário éster-alcool, ou o binário éster-água, consoante se tenha eliminado respectivamente por secagem ou por lavagem grande parte da água ou do álcool. Finalmente, obter-se-à o éster puro.

Segue-se um quadro com os valores de algumas misturas azeotrópicas:

	pe M	pe E	Binário E — A			Binário E — M			Ternário E — M — A			
			pe	% E	% A	pe	% E	% M	pe	% E	% M	% A
Formiato de metilo .	64,7	31,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Formiato de etilo . .	78,3	54,1	—	—	—	56,9	97	3	—	—	—	—
Formiato de propilo .	97,2	80,8	71,9	96,4	3,6	80,6	90,2	9,8	70,8	82	5	13
Formiato de butilo .	117,8	106,8	83,8	85	15	105,8	76,3	23,7	83,6	68,7	10	21,3
acetato de metilo . .	64,7	57,1	56,5	96,5	3,5	54	81	19	—	—	—	—
acetato de etilo . . .	78,3	77,1	70,4	91,8	8,2	71,8	69,2	30,8	70,3	83,2	9	7,8
acetato de propilo . .	97,2	101,6	82,2	87,5	12,5	94,7	60	40	82,2	59,5	19,5	21
acetato de butilo . .	117,8	125,0	90,2	73,3	26,7	117,2	53	47	89,4	35,3	27,4	37,3

A — água M — monol E — éster

A fim de estudar o emprego das misturas azeotrópicas na remoção da água de esterificação convem exprimir a constituição dos binários e ternários em meléculas:

Éster	Binário			Binário			Ternário			
	pe	E	A	pe	E	M	pe	E	M	A
Acetato de etilo	70,4	1	0,44	71,8	1	0,85	70,3	1	0,21	0,46
Acetato de propilo	82,2	1	0,80	94,7	1	1,10	82,2	1	0,55	2,00
Acetato de butilo	90,2	1	2,35	117,2	1	1,38	89,4	1	1,22	6,80

A — água M — monol E — éster

Vê-se, assim, que a partir do acetato de propilo, a quantidade de água arrastada pela mistura azeotrópica ternária é muito superior à do éster. O deslocamento do equilíbrio justifica-se, agora, pela remoção de água.

A técnica da purificação do éster é mais facil do que para o acetato de etilo, visto os binários e ternários dos acetatos de propilo e butilo terem tendência a separar-se fàcilmente em 2 camadas (das quais, a inferior é constituída, principalmente, por água).

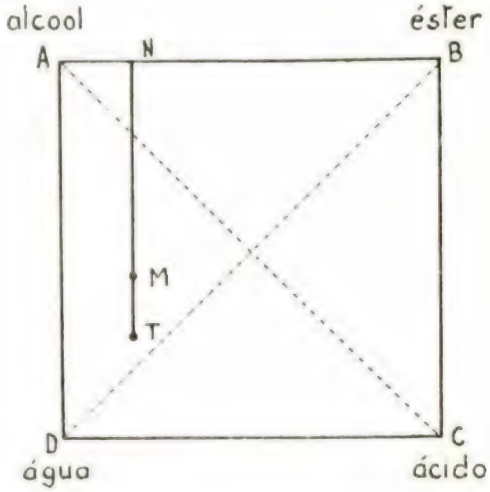
Previsão da reacção

Se conhecermos a composição inicial dum sistema ácido-álcool-éster-água, o valor da respectiva constante de equilíbrio, e se além disso tivermos elementos sobre a constituição e pontos de ebulição dos possíveis ternário e binários, fácil será prever a posterior evolução do sistema.

Mas admitamos que nos faltam alguns desses dados. Vamos recorrer a um processo gráfico. Consideremos, num quadrado representada a composição do sistema inicial.

Para isso usamos a seguinte convenção; imaginamos no vértice A um peso proporcional ao número de equivalentes do álcool, em B, um peso proporcional ao número de equivalentes do éster, em C um peso proporcional ao número de equivalentes do ácido, e em D um peso proporcional ao número de equivalente de água. Seja o ponto de gravidade deste conjunto de forças (M), a representação (evidentemente não unívoca) da composição do sistema.

Suponhamos que ao efectuar-se a destilação se obtem um ternário éster-álcool-água, a cuja composição corresponde no quadrado o ponto T. O resíduo, após a elimina-



ção do ternário terá uma composição situada sobre a recta NT e no sentido T → N.

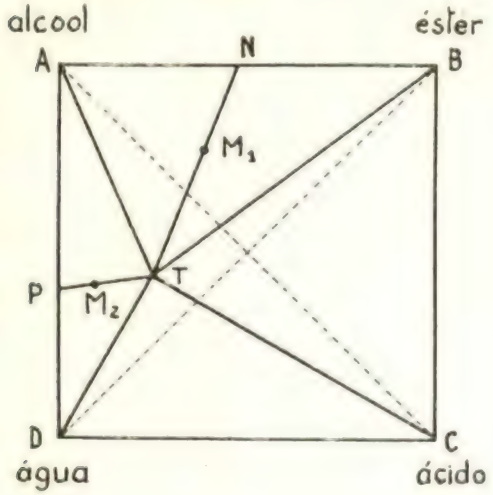
Unamos T com os vértices do quadrado.

Consideremos que o ponto representativo da composição inicial do sistema M_1 se encontrava no interior do triângulo TAB: o sistema evolucionaria no sentido T M_1 B. Se o ponto representativo da composição inicial M_2 estivesse no interior do triângulo TAD, o sistema evoluiria no sentido T M_2 P.

Prova-se que em qualquer destes casos a esterificação tenderia a completar-se.

Se, pelo contrário, o ponto representativo

do sistema tivesse caído nos triângulos TDC ou TCB dar-se-ia uma saponificação parcial,



* * *

Sob o ponto de vista puramente cinético.

a) a Temperatura
b) o Catalisador

são os factores capazes de influenciar a esterificação.

Temperatura

A acção estática da temperatura è, geralmente, desprezível: na grande maioria das esterificações conhecidas a constante de equilíbrio mantém-se quase invariável até ao refluxo.

Outrotanto já não sucede com a sua acção cinética: a velocidade duplica, aproximadamente, por cada aumento de 10° C. Assim, na esterificação do etanol pelo ácido acético, à temperatura de ebulição do ternário (70,3° C), a velocidade da reacção é $2^5 = 32$ vezes superior do que o 20,3° C: forma-se num minuto a 70,3° C a mesma quantidade de ester do que em meia hora a 20,3° C.

Será, portanto, aconselhável trabalhar a uma temperatura tão elevada, quanto possível. No entanto esta, se exceptuarmos as esterificações de poliois com ácidos superiores, è limitada pelo baixo ponto de ebulição dos reagentes ou das misturas azeotrópicas. E porque não se efectuará a reacção em fase vapor, a temperaturas muito mais elevadas? Os resultados de experiências efectuadas neste campo, têm sido pouco animadores (rendimentos baixos). A esterificação em fase gasosa decorre dum modo totalmente diferente (verifica-se, por exemplo, uma diminuição acentuada da constante de equilíbrio, com o aumento da temperatura).

Resta ainda outra solução: o aumento da temperatura de refluxo, provocado por uma elevação de pressão. Assim, a temperatura de refluxo na preparação do acetato de etilo, é elevada de cerca de 20° C quando a pressão duplica (2 atmosferas). A velocidade quadruplica. Pressões mais elevadas em fase líquida, conduziriam a melhores taxas de esterificação.

Catalisador

Os catalisadores são ácidos minerais ou orgânicos e, mais raramente, óxidos e sais metálicos.

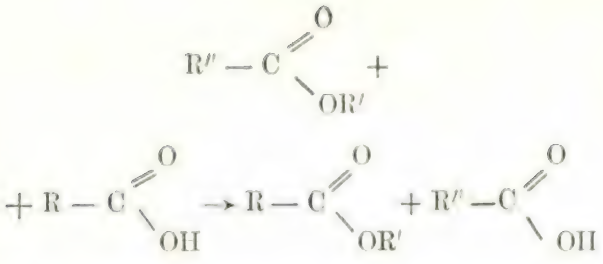
A acção do catalisador pode, em certas reacções, interpretar-se por um mecanismo de deshidratação. Assim, em esterificações catalisadas pelo SO_4H_2, aparecem vestígios de alcenas:

$$R' - CH_2 - CH_2OH \xrightarrow[(SO_4H_2)]{} R - CH = CH_2 + OH_2$$

$$R' - CH = CH_2 + \\ + R - C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!\diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix} \rightarrow R - C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!\diagup O \\ \diagdown O - (CH_2)^2 - R' \end{matrix}$$

No caso do catalizador ser um ácido orgânico, pode supor-se que aquele se esterifica com o álcool, sofrendo o éster assim formado uma acidólise, que regenera a substância catalítica:

$$R'' - C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!\diagup O \\ \diagdown OH \end{matrix} + R'OH \rightleftarrows R'' - C\begin{matrix} \diagup\!\!\!\!\diagup O \\ \diagdown OR' \end{matrix} + OH_2$$



Existirão, provàvelmente, mecanismos intermédios.

A quantidade de catalisador adicionado é diminuta: oscila para os ácidos minerais mais usados (CHI e SO_4H_2) entre 2 e 3 % no laboratório, e cerca de 0,1 a 1 % em escala industrial.

Exemplo duma aplicação — determinação da tecnica laboratorial de preparação dum ester (lactato de metilo).

Devido ao baixo ponto de ebulição e grande solubilidade do metanol não era possível a utilização de misturas azeotrópicas.

Seguiu-se o caminho de trabalhar com grandes excessos de álcool (ao refluxo) empregando como catalizador SO_4H_2 (em concentração de ≈ 1 %).

Metanol/ácido (Equiv)	Tempo de aquecimento	Temperatura de aquecimento	Rendimento
5	4 h	80 — 100° C	< 0,1 %
3,5	7 h	140 — 150° C	35 %
5	8 h	150 — 160° C	47 %
5	7 h	160 — 170° C	69 %
5	7 h	160 — 180° C	77 %

Estabeleceram-se assim as condições de preparação: num balão, em banho de óleo, aquecer em refluxo enérgico, durante 7 a 8 horas, entre 160-180° C, 180 g (240 cm³ a 75 % em volume) de ácido láctico (2 moles), 320 g (400 cm³) de metanol (10 moles e 4 g (3 cm³) de SO_4H_2 c. (0,04 moles); deixar arrefecer e eliminar a maior parte do metanol, que depois é recuperado; destilar no vácuo — o lactato de metilo passa entre 40 a 60° C a 25/30 mm (rendimento 60-70 %).

2 — Reagentes

A esterificação exige como matérias primas fundamentais um ácido orgânico e um álcool (monol ou poliol).

Os monois mais empregados são os alcoois metílico, etílico, propílico, butílico, amílico e cetílico; dos poliois, o glicol e a glicerina. Os ácidos consumidos em maior quantidade são o fórmico, acético, succínico, esteárico, benzóico e láctico.

O rendimento da esterificação será tanto mais elevado, quanto menor for a quantidade de água existente no ácido e álcool reagentes. Mas, desde que exista um processo prático de eliminação, durante a operação da água introduzida pelos reagentes (misturas azeotrópicas ou simples destilação), a circunstância anterior não traz inconveniente apreciável. Assim, no fabrico em escala industrial do acetato de etilo, parte-se de ácido acético a 80 % e de álcool a 94 %, atingindo-se bons rendimentos finais.

Noutros casos a necessidade de obter rendimento elevado, obriga a uma secagem prévia das matérias primas (concentração por destilação simples, misturas azeotrópicas): assim, o ácido acético muito diluido (10 a 12 %) obtido por fermentação, é concentrado até cerca de 80 %, antes de ser usado como agente de esterificação.

Quanto aos catalisadores, os mais largamente empregados no laboratório e na indústria são o ácido sulfúrico a 66° Be e o ácido clorídrico em solução saturada.

Em escala industrial também se emprega o ácido clorídrico, formado por reacção entre o ácido sulfúrico e cloretos no interior do aparelho de esterificação, e ainda o ácido p-tolueno-sulfónico.

Têm sido experimentados em determinadas esterificações em escala laboratorial ou em instalações piloto, óxidos de chumbo e manganes, cloretos de zinco e estanho, sulfato de alumínio, óxido de cálcio, hidróxido de sódio. A maior parte destes catalisadores são específicos.

O mais recente catalisador de esterificação deve-se à química alemã da 2.ª guerra mundial: trata-se duma resina permutadora de aniões (Amberlite), muito mais eficiente

na produção dos esteres do etanol e do butanol, do que os catalisadores até então empregados (clorídrico e sulfúrico). Além de aumentar consideràvelmente o rendimento, esta resina não contamina os reagentes e pode ser separada por filtração e re-utilizada várias vezes.

Em resumo, as principais características a que deve satisfazer um catalisador de esterificação são as seguintes:

1 — aumentar o rendimento horário
2 — não tornar o meio excessivamente corrosivo
3 — não contaminar de impuresas os produtos da reacção
4 — poder ser re-utilizado

As condições 2 e 3 estão relacionadas entre si e justificam, por exemplo, a preferência na indústria do ClH, em vez do SO_4H_2; a característica 4) só será de considerar, quando o preço do catalisador o justifique.

(Continua)

Abertura da galeria de descarga do Descarregador de Superfície da Albufeira do Pego do Altar

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ARMANDO DA PALMA CARLOS

C. D. 627.833(469)

Comunicação apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

1 — Generalidades

O túnel de que se ocupa a presente comunicação tem por objectivo servir como galeria de descarga do Descarregador de Superfície da Albufeira do Pego do Altar.

Durante a construção da Barragem foi também utilizado para o desvio das águas da Ribeira de Santa Catarina, reforçando consideràvelmente a vasão anteriormente facultada apenas pela inicial galeria de desvio.

Com esta última finalidade é que se procedeu à sua abertura desde a boca de montante até à prumada do poço de descarga, imediatamente a montante do qual já parcialmente se executou um tampão de formigão, na medida em que o túnel já deixou de ser preciso para desvio das águas da ribeira.

O túnel tem forma circular, com diâmetro interior de 10,40 m e revestimento de formigão de espessura variável de 0,40 m no fecho a 0,65 m nos encontros da abóbada, alargando até 1,90 m no embasamento estabelecido 4 metros abaixo do diâmetro horizontal da galeria; do embasamento para baixo o revestimento voltou a ser de 0,40 m (figura n.º 1).

A sua secção total de escavação é de 106,122 m^2.

O desenvolvimento da galeria, construída na margem direita da ribeira, a distância suficiente da primitiva para ter garantida a estabilidade do terreno, é de 399 metros, sendo a directriz constituída por um único alinhamento recto.

A sua inclinação é de 4 por mil, salvo nos 25 metros iniciais, em que há uma rampa cuja inclinação média atinge 10 %, a qual se destina à melhoria das condições de vasão no desvio das águas da ribeira.

Os terrenos que atravessa são os mesmos xistos, muito enrugados, do devónico, em que assenta a Barragem.

Esses xistos devónicos são essencialmente sílico-argilosos, apresentando com frequência veios ou pequenos filões de quartzo branco não mineralizado e irregularmente desenvolvido.

Apresentam-se bastante fracturados

Durante o alargamento da secção da galeria produziram-se 4 importantes desabamentos de xistos superiores à respectiva abóbada.

A escavação da secção da galeria foi efectuada em 3 fases (figura n.º 1), a saber:

a) Galeria de avanço, superior, com secção média de 6,25 m² (2,50 m × 2,50 m).

b) 1.ª fase do alargamento ou desanche, que consistiu no alargamento da escavação na parte superior da galeria em mais 21,75 m², portanto até à secção de 28 m².

c) 2.ª fase do alargamento ou stross, com realização da escavação na secção restante de

$$106{,}122\ m^2 - 28\ m^2 = 78{,}122\ m^2$$

A galeria de avanço e a 1.ª fase do alargamento foram realizadas de Maio a Novembro de 1941; a 2.ª fase do alargamento decorreu ao longo de um período de 3 anos (triénio de 1942-1944), com interrupções diversas, na sua maioria resultantes de cheias cujas águas atravessaram o Túnel.

Todo o trabalho teve, portanto, lugar no período de intensa construção que o País tem atravessado nos últimos anos.

São da Junta Autónoma de Obras de Hidráulica Agrícola o projecto e a construção do túnel, tendo esta sido efectivada em regimen da empreitada adjudicada à firma Bastian & Costa, Ltd.ª

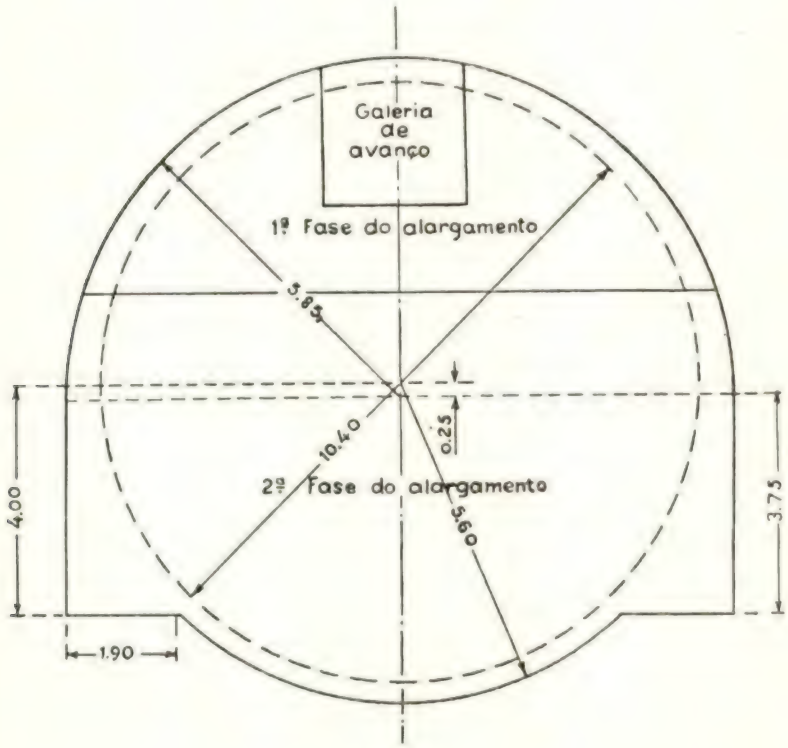


Fig. 1

O desempenho das funções de engenheiro residente na Obra permitiu-me acompanhar essa construção e fazer a recolha dos elementos que são apresentados nesta comunicação, os quais dão indicações relativas a um trabalho executado e espero que forneçam também úteis indicações para obras futuras.

De Sua Excelência o Presidente da Junta, Engenheiro António Trigo de Morais, e do Ex.mo Chefe da Repartição de Construções, Engenheiro João Pedro da Costa, recebi

sempre todas as facilidades e muito incitamento para a recolha dos elementos apresentados. De justiça é pois consignar-lhes aqui os meus agradecimentos.

2 — Progressão dos trabalhos

A) — *Galeria de avanço*

O desenvolvimento em que a galeria de avanço foi executada foi de 393,9 metros, portanto ligeiramente menor que o comprimento da rasante do túnel, por motivo da inclinação primeiramente prevista para as respectivas testas de entrada e de saída.

A sua abertura foi iniciada em 20 de Maio de 1941 a partir da boca de jusante e em 24 do mesmo mês a partir da boca de montante. Não se utilizaram outras frentes de ataque.

A ligação dos avanços foi realizada em 16 de Agosto de 1941, portanto menos de 3 meses depois de se ter começado o rompimento.

Esse período inclui um atraso de 2 semanas resultante da modificação da cota de razante da galeria, reconhecida de grande utilidade em face de resultados de ensaios efectuados no Laboratório Hidráulico de Grenoble.

A frente de montante, na ocasião da ligação, tinha 186,7 metros. Trabalhara-se nela em 61 dias, num total de 114 relevos de 10 horas cada.

A frente de jusante, na mesma ocasião, media 207,2 metros. Trabalhara-se nela em 63 dias, num total de 113 relevos de 10 horas cada.

Verificaram-se os elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	Galeria de avanço do túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Desenvolvimento da galeria de avanço	m.	186,7	207,2	393,9
Secção média da galeria de avanço	m^2	6,25	6,25	6,25
Volumes escavados	m^3	1 167	1 295	2 462
Número de dias de trabalho	dia	61	63	65
Avanço médio por dia de trabalho	m / dia	3,06	3,29	6,06
Volume médio por dia de trabalho	m^3/ dia	19,1	20,6	37,9
Número de relevos (10 horas cada)	—	114	113	119
Avanço médio por relevo	m.	1,64	1,83	3,31
Volume médio escavado por relevo	m^3	10,2	11,5	20,7
Número de pegas	—	192	213	405
Número médio de pegas por relevo	—	1,7	1,9	3,4
Número médio de pegas por dia de trabalho .	—	3,1	3,4	6,2
Avanço médio por pega	m.	0,97	0,97	0,97
Volume médio de escavação por pega	m^3	6,1	6,1	6,1

B) — *1.ª fase do alargamento*

Terminada a galeria de avanço em 16-8-41, procedeu-se ao rebaixamento, nas bocas do túnel, dos pisos de extracção das terras, de modo que esta passasse a fazer-se ao nível da base da secção relativa ao desanche.

Concluído esse rebaixamento, iniciaram-se os trabalhos desta primeira fase do alar-

gamento, o que teve lugar em 28-8-41 na frente de montante e em 29-8-41 na frente de jusante.

Aos trabalhos procurou-se dar a maior intensidade compatível com os meios de que se dispunha, de forma a concluir-se ràpidamente a escavação da secção de 28 m², para dela se dispor, logo desde o início do inverno, como reforço da vasão dada pela galeria de fundo.

Esta fase do trabalho veio a ficar concluída em 30 de Novembro de 1941, ou seja pràticamente 3 meses depois de começada.

Durante ela trabalhou-se na frente de montante em 170 turnos de 10 horas e na frente de jusante em 169 turnos de igual duração.

Verificaram-se os elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	1.ª fase do alargamento do túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Desenvolvimento	m.	197	198	395
Secção média	m²	21,75	21,75	21,75
Volumes escavados	m³	4 285	4 307	8 592
Número de dias de trabalho	dia	86	85	86
Progressão média por dia de trabalho	m / dia	2,29	2,33	4,59
Volume médio escavado por dia de trabalho	m³/ dia	49,8	50,7	99,9
Número de relevos	—	170	169	171
Avanço médio por relevo	m.	1,16	1,17	2,31
Volume médio escavado por relevo	m³	25,2	25,5	50,2

C) — 2.ª *fase do alargamento*

Após o termo do desanche, procedeu-se, nas bocas da galeria, a escavações para alargamento dessas bocas e para novo rebaixamento dos planos inclinados de extracção dos produtos escavados.

Em Janeiro de 1942 teve início o desmonte relativo à 2.ª fase do alargamento da secção do túnel ou stross, trabalho que foi acompanhado pela regularização das superfícies a revestir e apenas terminou em Dezembro de 1944, tendo portanto tido lugar ao longo de um período de 3 anos (1942-1944).

Nesse período houve 774 dias de trabalho nas escavações do túnel, com interrupções resultantes, primàriamente, de cheias cujas águas atravessaram o túnel, obrigando depois a esgotos, de forma a poder-se recomeçar a trabalhar sob a protecção de ensecadeiras de terra executadas anteriormente, na vizinhança das bocas da galeria.

A escavação total realizada até final de 1944, de harmonia com medição então efectuada, foi de 42 193 m³.

A pequena diferença para o volume correspondente à secção total a escavar resulta de não haver ficado completada a regularização na zona do tampão que obturará a parte de montante do túnel, que passará assim a funcionar exclusivamente como galeria de descarga do Descarregador da Albufeira.

Simultâneamente com as escavações desta fase, procedeu-se à remoção de cerca de 3.000 m³ de rocha caída em desabamentos, ao revestimento de quase todo o túnel (execução aproximadamente de 7.850 m³ de formigão) e ao enchimento dos vazios resultantes dos aludidos desabamentos

Verificaram-se os elementos seguintes, que são apresentados também para as restantes fases do desmonte e para o conjunto do trabalho:

Designação dos elementos	Unidades	Fases do desmonte			Elementos relativos à secção total da galeria de descarga
		Galeria de avanço	1.ª fase do alargamento	2.ª fase do alargamento	
Desenvolvimento	m	393,9	395	399	399
Secção	m^2	6,25	21,75	78,122	106,122
Volumes escavados	m^3	2 462	8 592	31 138	42 192
N.º dias de trabalho	dia	65	86	774	925
Volume médio escavado por dia de trabalho	m^3/dia	37,9	99,9	40,2	45,6
Número de relevos	—	119	171	1 630	1 320
Volume médio escavado por relevo .	m^3	20,7	50,2	30,2	32,0

3 — Entivação

Não foi necessário o seu emprego durante a abertura da galeria de avanço.

Porém, na execução da 1.ª fase do alargamento houve que entivar nos desenvolvimentos seguintes:

— 20 metros, entre os 135 e os 155 metros a partir da testa de montante.
— 25 metros, entre os 215 e os 240 metros.
— 10 metros, entre os 255 e os 265 metros.
— 5 metros, aos 320 metros.

Posteriormente, durante o rebaixamento para conclusão da abertura da secção da galeria, foram retiradas essas entivações.

Durante o inverno de 1942-1943, mantendo-se a secção total da galeria sem qualquer entivação, aumentaram consideràvelmente as ruínas antes existentes nos locais referidos, as quais passaram a ter as dimensões seguintes (respectivamente comprimento no eixo do túnel e altura máxima acima do fecho da abóbada do revestimento):

— 14 metros por 11 metros
— 22,5 metros por 5 metros
— 6,5 metros por 8 metros
— 16 metros por 4 metros

O enchimento dos vazios resultantes destas ruínas foi feito com alvenaria hidráulica, de xisto escolhido.

4 — Ventilação

A ventilação apenas foi necessária na galeria de avanço, cuja secção é sòmente de 5,9 % da secção total.

Foi empregada em ambas as frentes de trabalho a partir de avanços da galeria de cerca de 75 metros. Teve lugar, nas frentes de montante e de jusante, respectivamente em 71 e 70 relevos.

Foi efectuada por aspiração, utilizando-se em cada frente um ventilador centrífugo, accionado por motor eléctrico de 10 HP.

Como canalização empregaram-se ventubos de 25 centímetros de diâmetro, feitos

com pano cru, a que se aplicou uma tinta feita com óleo de linhaça, preto de Itália e fezes de ouro ou litargírio.

Em média cada ventilador trabalhou 10 minutos com intervalos de meia hora, o que dá aproximadamente 2,5 horas de funcionamento por turno.

Verificaram-se os elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	Valores
Número de relevos de trabalhos dos ventiladores:		
— Frente de montante	—	71
— Frente de jusante	—	70
Tempo médio de trabalho dos ventiladores por relevo de 10 horas .	hora	2,5
Tempo total de trabalho dos ventiladores	hora	352,5
Tempo médio de trabalho de ventilador por m³ escavado:		
— Na galeria de avanço	minuto	8,6
— Na secção total da galeria	minuto	0,5

5 — Número de tiros

Foi regularmente anotado durante todo o trabalho.

A) — *Galeria de avanço*

A disposição habitual dos tiros das pegas dadas na abertura da galeria de avanço está indicada na figura n.º 2, que mostra também a ordem prevista para a explosão dos tiros.

As designações usualmente dadas aos diversos tiros são:

N.os 1 a 3 — Tiros de caldeira (pé de galinha).
N.os 4 a 6 — Tiros auxiliares
N.os 7 e 8, 12 e 13 — Tiros dos asteais.
N.os 9 a 11 — Tiros do teto.
N.os 14 a 16 — Sapateiras.

Fig. 2

Obtiveram-se os elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	Galeria de avanço do túnel do Descarregador		
		Frente de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Número de tiros	—	2879	3537	6416
Número médio de tiros por pega	—	15	17	16
Idem, por relevo	—	25	31	54
Idem, por dia de trabalho	—	47	56	99
Idem, por metro de avanço	—	15	17	16
Idem, por metro cúbico escavado	—	2,5	2,7	2,6
Vol. médio desmontado por tiro	m³	0,405	0,366	0,384

B) — *1.ª fase do alargamento*

Obtiveram-se os elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	1.ª fase do alargamento do túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Número de tiros	—	5146	4390	9536
Número médio de tiros por relevo	—	30	26	56
Idem, por dia de trabalho	—	60	52	111
Idem, por metro cúbico escavado	—	1,2	1,0	1,1
Volume médio desmontado por tiro	m^3	0,833	0,981	0,901

C) — *2.ª fase do alargamento*

Verificaram-se os elementos que seguidamente se apresentam em paralelo com os respeitantes às restantes fases de desmonte.

Designação dos elementos	Unidades	Fases do desmonte			Elementos relativos à secção total da galeria de descarga
		Galeria de avanço	1.ª fase do alargamento	2.ª fase do alargamento	
Número de tiros	—	6416	9536	24 416	40 368
Número médio de tiros por relevo .	—	54	59	24	31
Idem, por dia de trabalho	—	99	111	32	44
Idem, por metro cúbico escavado .	—	2,6	1,1	0,8	1,0
Volume médio desmontado por tiro .	m^3	0,384	0,901	1,275	1,045

6 — Perfuração

A) — *Elementos gerais*

Durante todo o trabalho verificaram-se as condições seguintes:

— Tipo de perfuração: a ar comprimido.
— Tipo dos aços: sextavados furados.
— Diâmetro das barrenas: 7/8″
— Tipo dos martelos: Ingersol Rand CP 42, de 25 kg
Ingersol Rand CP 225, de 16 kg
— Instalação de compressores: 2 máquinas com motores respectivamente de 150 e 75 HP.
— Força motriz para accionamento dos compressores: electricidade.
— Pressão normal de trabalho dos compressores: 6 kg/cm²
— Diâmetro da canalização de ar comprimido: 3″ e 2″.
— Velocidade absoluta de furação: 0,21 m/minuto.

— Velocidade média prática de furação: 0,11 m/minuto na galeria de avanço; 0,10 m/minuto, no alargamento (1.ª e 2.ª fases).
— Rendimento horário prático: 6 metros.

B) — *Galeria de avanço*

Registaram-se os elementos a seguir indicados:

Designação dos elementos	Unidades	Galeria de avanço do túnel do Descarregador		
		Frente de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Furação total	m	4 030	4 952	8 982
Furação média por tiro	m	1,40	1,40	1,40
Furação média por pega	m	21	23	22
Furação média por metro de avanço	m	22	24	23
Furação média por m³ escavado	m	3,45	3,82	3,65
Duração média absoluta de furação por pega .	minuto	100	110	105
Duração média total de furação por pega . . .	minuto	191	209	200

C) — *1.ª fase do alargamento*

Verificaram-se os seguintes elementos:

Designação dos elementos	Unidades	1.ª fase do alargamento do Túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Furação total	m	8 645	7 680	16 325
Furação média por tiro	m	1,68	1,75	1,71
Furação média por m³ escavado	m	2,02	1,78	1,90

D) — *2.ª fase do alargamento*

Foram anotados os elementos que seguidamente se apresentam em comparação com os relativos às demais fases do desmonte.

Designação dos elementos	Unidades	Fases do desmonte			Elementos relativos à secção total da galeria de descarga
		Galeria de avanço	1.ª fase do alargamento	2.ª fase do alargamento	
Furação total	m	8 863	16 325	40 279	65 467
Furação média por tiro	m	1,40	1,71	1,65	1,62
Furação média por m³ escavado . .	m	3,65	1,90	1,29	1,55

7 — Consumo de explosivos

Durante todo o trabalho foi diàriamente anotado o consumo de explosivos, cápsulas e rastilho.

Como explosivos empregaram-se:

— Na galeria de avanço: a amonite, a saedite e ainda, por vezes, a dinamonite e a gelamonite.
— Na 1.ª fase do alargamento: a saedite.
— Na 2.ª fase do alargamento: a saedite e a amonite.

As cápsulas empregadas foram geralmente n.º 6. Utilizou-se sempre apenas uma cápsula por cada tiro.
O rastilho usado foi habitualmente preto, duplo.

A) — *Galeria de avanço*

A execução do trabalho conduziu aos elementos seguintes:

Designação dos elementos	Unidades	Galeria de avanço do túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Consumo de materiais:				
— Explosivos	Kg	1817	1966	3 783
— Cápsulas	—	2879	3537	6 416
— Rastilho	m	5081	5761	10 842
Consumo médio de materiais por tiro:				
— Explosivos	Kg	0,631	0,556	0,590
— Cápsulas	—	1	1	1
— Rastilho	m	1,76	1,63	1,69
Consumo médio de material por pega:				
— Explosivos	Kg	9,5	9,2	9,3
— Cápsulas	—	15	17	16
— Rastilho	m	26,5	27,0	26,8
Consumo médio de materiais por metro de avanço:				
— Explosivos	Kg	9,7	9,5	9,6
— Cápsulas	—	15	17	16
— Rastilho	m	27,2	27,8	27,5
Consumo médio de materiais por m³ escavado:				
— Explosivos	Kg	1,557	1,518	1,537
— Cápsulas	—	2,5	2,7	2,6
— Rastilho	m	4,35	4,49	4,40

B) — *1.ª fase do alargamento*

Verificaram-se os elementos seguidamente referidos:

Designação dos elementos	Unidades	1.ª fase do alargamento do Túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Consumo de materiais:				
— Explosivos	Kg	2793	3050	5 843
— Cápsulas	—	5146	4390	9 536
— Rastilho	m	6877	6255	13 132
Consumo médio de materiais por tiro:				
— Explosivos	Kg	0,543	0,695	0,584
— Cápsulas	—	1	1	1
— Rastilho	m	1,34	1,42	1,38
Consumo médio de materiais por m³ escavado:				
— Explosivos	Kg	0,652	0,708	0,680
— Cápsulas	—	1,2	1	1,1
— Rastilho	m	1,60	1,45	1,53

C) — *2.ª fase do alargamento*

Foram obtidos os valores indicados e postos em comparação com os referentes às anteriores fases do desmonte.

Designação dos elementos	Unidades	Fases do desmonte			Elementos relativos à secção total da galeria de descarga
		Galeria de avanço	1.ª fase do alargamento	2.ª fase do alargamento	
Consumo de materiais:					
— Explosivos	Kg	3 783	5 842	13 088	22 713
— Cápsulas	—	6 416	9 536	24 473	40 425
— Rastilho	m	10 842	13 132	31 383	55 357
Consumo médio de materiais por tiro:					
— Explosivos	Kg	0,590	0,584	0,535	0,562
— Cápsulas	—	1	1	1	1
— Rastilho	m	1,69	1,38	1,28	1,37
Consumo médio de materiais por m³ escavado:					
— Explosivos	Kg	1,537	0,680	0,420	0,538
— Cápsulas	—	2,6	1,1	0,8	1,0
— Rastilho	m	4,40	1,53	1,01	1,31
Volume médio desmontado por Kg de explosivo empregado	m³	0,651	1,471	2,379	1,858

8 — Mão de obra

A) *Galeria de avanço*

Por turno e por frente o pessoal empregado, em média, durante a abertura da galeria de avanço, foi constituído pela forma seguinte:

— 1 capataz (mineiro chefe do grupo).
— 2 mineiros.
— 1 guincheiro (só na frente de montante e excluindo o período inicial).
— 5 trabalhadores, sendo 2 chegadores
2 safreiros
1 para manobras de vagonetas.

Em cada turno, mas para o conjunto das 2 frentes, trabalharam:

— 1 encarregado (tarefeiro)
— 1 ferreiro (no aguço de ferramenta)
— 1 ajudante de ferreiro
— 1 rapaz (aguadeiro)

Os elementos que a seguir se apresentam respeitam portanto não apenas ao desmonte da rocha, mas ao conjunto de trabalhos efectuados até respaldo dos produtos escavados, nos respectivos locais de depósito. Não incluem a mão de obra referente ao aguço de ferramentas.

Designação dos elementos	Unidades	Galeria de avanço do túnel do Descarregador		
		Frentes do trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Número de jornais (não só para desmonte da rocha mas também para a sua remoção até depósito; não está incluído o pessoal de forja; jornais de 10 horas):				
— Encarregado	jornal	57	57	114
— Capataz	»	114	113	227
— Mineiro	»	228	226	454
— Guincheiro	»	106	—	106
— Trabalhador	»	570	565	1135
— Rapaz	»	57	57	114
Tempo médio de pessoal por metro de avanço:				
— Encarregado	hora	3	3	3
— Capataz	»	6	5	6
— Mineiro	»	12	11	12
— Guincheiro	»	6	—	3
— Trabalhador	»	31	27	29
— Rapaz	»	3	3	3
Tempo médio de pessoal por m^3 escavado:				
— Encarregado	hora	0,5	0,4	0,5
— Capataz	»	1,0	0,9	0,9
— Mineiro	»	2,0	1,7	1,8
— Guincheiro	»	0,9	—	0,4
— Trabalhador	»	4,9	4,4	4,6
— Rapaz	»	0,5	0,4	0,5

B — *1.ª fase do alargamento*

Por turno e por frente o pessoal empregado, em média, durante a realização da primeira fase do alargamento, foi constituído pela forma seguinte:

— 1 capataz (mineiro chefe de grupo).
— 3 mineiros.
— 1 guincheiro.
— 11 trabalhadores, sendo 2 chegadores.
7 safreiros.
2 para manobra de vagonetas.

Em cada turno, para o conjunto das 2 frentes, trabalharam:

— 1 encarregado (tarefeiro).
— 1 rapaz (aguadeiro; empregado também no transporte de ferramenta).

Para aguço de ferramentas trabalharam, no turno diurno:

— 1 ferreiro.
— 1 ajudante de ferreiro.

Durante a realização do desanche procedeu-se à regularização da periferia do túnel numa altura de 3 metros, a contar da geratriz superior, em todo o desenvolvimento, e localmente, em diversos pontos, também na parte restante da altura correspondente a esta fase do trabalho.

As elevações sofridas pelos produtos escavados foram de 5 a 6 metros. A distância média de transporte horizontal, na parte exterior do túnel, foi de 250 metros.

No pessoal seguidamente indicado está incluído o utilizado nos trabalhos de regularização e transportes.

Designação dos elementos	Unidades	1.ª fase do alargamento do Túnel do Descarregador		
		Frentes de trabalho		Conjunto
		Montante	Jusante	
Número de jornais (desmonte e remoção para depósito):				
— Encarregado	jornal	86	85	171
— Capataz	»	170	169	339
— Mineiro	»	452	500	952
— Guincheiro	»	170	169	339
— Trabalhador	»	1622	1873	3485
— Rapaz	»	84	85	169
Tempo médio de pessoal por m^3 escavado:				
— Encarregado	jornal	0,2	0,2	0,2
— Capataz	»	0,4	0,4	0,4
— Mineiro	»	1,1	1,2	1,1
— Guincheiro	»	0,4	0,4	0,4
— Trabalhador	»	3,8	4,3	4,1
— Rapaz	»	0,2	0,2	0,2

C) — *2.ª fase do alargamento*

Na mão de obra empregada, a qual foi diàriamente anotada, está incluída a referente à regularização, bem como à remoção dos produtos escavados até depósito.

Nesta fase do trabalho o valor médio da elevação dos produtos desmontados foi de cerca de 8 metros. A distância média de transporte horizontal foi de aproximadamente 300 metros, na parte exterior do túnel.

Verificaram-se os elementos seguintes, que estão postos em confronto com os referentes às anteriores fases do desmonte:

Designação dos elementos	Unidades	Fases do desmonte			Elementos relativos à secção total da galeria de descarga
		Galeria de avanço	1.ª fase do alargamento	2.ª fase do alargamento	
Número de jornais (10 horas; desmonte e remoção dos produtos escavados);					
— Encarregado	jornal	114	171	900	1 185
— Capataz	»	227	339	1794	2 360
— Mineiro	»	454	952	3056	4 462
— Guincheiro	»	106	339	1550	1 995
— Trabalhador	»	1135	3495	14962	19 592
— Rapaz	»	114	169	1216	1 499
Tempo médio de pessoal por m^3 escavado:					
— Encarregado	minuto	27	12	17	17
— Capataz	»	55	24	35	34
— Mineiro	»	111	66	59	63
— Guincheiro	»	26	24	30	28
— Trabalhador	»	277	244	288	279
— Rapaz	»	27	12	23	21

Há que notar que os valores referentes à galeria de avanço e à 1.ª fase do alargamento devem ser considerados normais, porquanto nessas fases o trabalho decorreu com a conveniente continuidade. Já o mesmo não acontece com os valores relativos ao stross — e, por influência desse facto, com os referentes ao conjunto —, pois durante ele, por razões várias (cheias na ribeira, falta de pessoal, realização de betonagens, ocorrência de desabamentos e remoção dos produtos caídos, etc.) trabalhou-se frequentemente apenas numa frente, ou num só turno e com intensidade bastante menor do que a que se verificaria num trabalho normal.

A mão de obra por m^3 escavado foi maior para a 2.ª que para a 1.ª fase do alargamento, o que resultou das causas seguintes: irregularidade do trabalho, ocorrência das cheias, produção dos desabamentos, maior altura de elevação dos produtos removidos.

9 — Regularização

Na regularização empregaram-se martelos saneadores D 11, de 8,5 kg.

De várias observações efectuadas resultam os elementos seguintes:

— Tempo total, em média, de trabalho de saneador por cada 6 metros de galeria (1 troço de revestimento):

$$3 \text{ martelos} \times 3{,}6 \text{ relevos} \times 10 \text{ horas} = 108 \text{ horas}$$

— Tempo médio de trabalho de saneador por metro de galeria:

$$108 \text{ horas} : 6 = 18 \text{ horas}$$

— Tempo médio de trabalho de saneador por m^3 escavado:

$$18 \text{ horas} : 106{,}122 \text{ m}^3 = 10 \text{ minutos/m}^3$$

— Superfície a regularizar por metro corrente = 36,60 m^2
— Tempo médio de trabalho de saneador por m^2 de superfície a regularizar:

$$18 \text{ horas} : 36{,}60 \text{ m}^2 = 30 \text{ minutos/m}^2$$

— Superfície regularizada, em média, pelo trabalho de 1 hora de saneador:

$$36{,}60 \text{ m}^2 : 18 \text{ horas} = 2 \text{ m}^2$$

10 — Sobre-espessuras

O volume teórico de formigão por metro corrente de túnel é de 21,173 m^3.
O volume de formigão realmente empregado foi de 22.600 m^3 por metro corrente.
Resulta uma percentagem de sobre-espessuras normais de

$$\frac{22{,}600 - 21{,}173}{22{,}600} = 6{,}3\ \%$$

que não inclui as sobre-espessuras que resultaram dos desabamentos, as quais, conforme já se referiu, foram cheias com alvenaria hidráulica.

Pego do Altar, em 16 de Fevereiro de 1948.

MISTURADORES DESCONTÍNUOS

Determinação das dimensões

POR JOSÉ FERREIRA AMARO
(Do curso de Química Industrial)

C D 661.73

I — Introdução

Num artigo sobre «Mistura», publicado na «Técnica», de autoria do engenheiro Luís de Almeida Alves [1], o método indicado para a determinação das dimensões dos misturadores de substâncias sólidas, consiste em estabelecer, por tentativas, um valor do diâmetro D, tal que o comprimento L determinado a partir dele dê, para a relação $\frac{L}{D}$, valores aceitáveis. O que vai seguir-se tem por fim estabelecer um método mais simples para a determinação do diâmetro D, utilizando algumas das expressões do artigo citado.

II — Teoria

1 — *Número de operações de mistura*

Sejam v_1 e v_2 os volumes das substâncias a misturar, em que $v_1 > v_2$.

Para determinar o número de operações a realizar vamos calcular o maior valor de m dado pelas expressões [1]:

$$m = \frac{3 \log \frac{2 K \sqrt[3]{v_2}}{l}}{\log 2} + 1 \qquad (1)$$

$$m = \frac{3 \log \frac{K \left(\sqrt[3]{v_1 + v_2} - \sqrt[3]{v_2}\right)}{l}}{\log 2} + 1 \qquad (2)$$

Mas o maior valor destas expressões será o correspondente ao maior valor dos factores

$$2 \sqrt[3]{v_2} \quad \text{e} \quad \left(\sqrt[3]{v_1 + v_2} - \sqrt[3]{v_2}\right)$$

Para sabermos qual a expressão a empregar na determinação de m vamos determinar a relação que deve existir entre v_1 e v_2, e daí concluir.

Suponhamos que

$$\sqrt[3]{v_1 + v_2} - \sqrt[3]{v_2} = 2 \sqrt[3]{v_2}$$

ou

$$\sqrt[3]{v_1 + v_2} = 3 \sqrt[3]{v_2}$$

ou ainda

$$v_1 + v_2 = 27\, v_2$$

donde

$$v_1 = 26\, v_2$$

Portanto se

$$v_1 > 26\, v_2$$

a expressão que dá um valor maior para m será a expressão (2).

Se $v_1 < 26\, v_2$ o maior valor de m será dado por (1).

Em particular quando for $v_1 = 26\, v_2$ o valor de m será o mesmo quer calculado por (1) ou por (2).

2 — *Volume da mistura em cada carga*

Suponhamos que o volume a misturar por hora é $v_t = v_1 + v_2$, o número de cargas a efectuar por hora será $\frac{20\, n}{m}$, sendo n o número de rotações por minuto e admi-

(1) «Técnica» n.º 182, pág. 886, 888 e 889.

tindo que a cada rotação corresponde uma operação de mistura [1].

Com efeito, supondo que o tempo que leva a operação de carga e descarga do misturador é duplo do necessário para efectuar a mistura de cada carga [2], teremos:

$$t = 3 \times \frac{m}{n}$$

donde, o número de cargas por hora será:

$$n_1 = \frac{60}{t} = \frac{60}{3\,\frac{m}{n}} = \frac{20\,n}{m}$$

O volume que o misturador deve levar em cada carga, será:

$$v_c = \frac{v_t\,m}{20\,n} \qquad (3)$$

Mas, sendo o volume da mistura em cada carga v_c, o volume que se deve considerar para a determinação de m será v'_2, em que

$$v'_2 = \frac{v_c\,v_2}{v_t} \qquad (4)$$

E v_c, volume da mistura, será dado por

$$v_c = E\,\frac{\pi\,D^2}{4}\,\alpha\,D \qquad (5)$$

sendo

E — grau de enchimento $0{,}25 \leqslant E \leqslant 0{,}35$ sendo os menores valores para as maiores dimensões e os maiores valores para as menores [3]

D — Diâmetro do misturador

α — Relação entre o comprimento e o diâmetro $L = D$ a $3\,D$ [4] $\rightarrow 1 \leqslant \alpha \leqslant 3$

(1) «Técnica» n.º 182, pág. 888.

(2) Implícito na pág. 888, «Técnica», n.º 182.

(3) «Técnica» n.º 167, pág. 1120.

(4) «Técnica» n.º 182, pág. 888.

3 — *Número de rotações*

O número de rotações será dado por [1]

$$n = \frac{25}{\sqrt{D}} \quad \text{a} \quad \frac{35}{\sqrt{D}}$$

sendo D em m e n em r. p. m.

Mas, para maior generalidade, vamos fazer

$$n = \frac{\beta}{\sqrt{D}} \qquad (6)$$

sendo

$$250 \leqslant \beta \leqslant 350$$

e D em cm

4 — *Determinação da função f (D)*

Como geralmente é $v_1 < 26\,v_2$, vamos fazer o estudo de f (D), para este caso, em primeiro lugar.

A — *Caso em que $v_1 < 26\,v_2$*

Das expressões (1), (3), (5) e (6) tira-se:

$$\sqrt{D} = \frac{\beta}{n} = \frac{20\,\beta\,v_c}{v_t\,m} = \frac{20\,\pi\,\alpha\,\beta\,E\,D^3}{4\,v_t\,m} =$$

$$= \frac{20\,\pi\,(\log 2)\,\alpha\,\beta\,E\,D^3}{4\,v_t\,\left(3\log\frac{2\,K\,\sqrt[3]{v'_2}}{l} + \log 2\right)}$$

mas [2]

$$k = \sqrt[3]{\frac{3}{\pi\,\mathrm{tg}\,\varphi}}$$

Portanto

$$\sqrt{D} = \frac{20\,\pi\,(\log 2)\,\alpha\,\beta\,E\,D^3}{4\,v_t\log\frac{16 \times 3\,v'_2}{\pi\,l^3\,\mathrm{tg}\,\varphi}} =$$

$$= \frac{5\,\pi\,(\log 2)\,\alpha\,\beta\,E\,D^3}{v_t\log\frac{48\,v'_2}{l^3\,\pi\,\mathrm{tg}\,\varphi}}$$

(1) «Técnica» n.º 167 e 180.

(2) «Técnica» n.º 182, pág. 886.

mas

$$v'_2 = \frac{v_c\, v_2}{v_t}$$

donde

$$\log \frac{48\, v_c\, v_2}{l^3\, \pi\, \mathrm{tg}\, \varphi\, v_t} = \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^3}{v_t \sqrt{D}} =$$

$$= \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^{5/2}}{v_t}$$

ou ainda

$$\log \frac{12\, \pi\, \alpha\, E\, v_2\, D^3}{l^3\, \pi\, \mathrm{tg}\, \varphi\, v_t} = \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^{5/2}}{v_t}$$

Determinoção do valor de D

Para determinar o valor de D utilizamos um sistema de eixos cartesianos, num dos quais (abcissas por exemplo) se marcam os valores de D e em ordenadas os valores das funções

$$\varphi\, (D) = \log \frac{12\, \alpha\, E\, v_2\, D^3}{l^3\, \mathrm{tg}\, \varphi\, v_t}$$

e

$$\psi\, (D) = \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^{5/2}}{v_t}$$

O ponto de intersecção das duas curvas, $\varphi\, (D)$ e $\psi\, (D)$, dar-nos-á o valor de D.

Para o cálculo de $\varphi\, (D)$ e $\psi\, (D)$, escolhem-se prèviamente os valores de α, β, e E.

Para facilitar a determinação de D podemos ainda fazer

$$\varphi\, (D) = \log k_1\, D^3 = \log k_1 + \log D^3$$

e $$\psi\, (D) = k_2\, D^{5/2}$$

sendo k_1 e k_2 constantes.

B — *Caso em que $v_1 > 26\, v_2$*

Vimos que o maior valor de m é dado pela expressão (2), portanto é esta a que deve ser considerada.

Tudo se mantém até à substituição de m na expressão

$$\sqrt{D} = \frac{20\, \pi\, \alpha\, \beta\, E\, D^3}{4\, v_t\, m} \qquad (7)$$

O valor de m é dado por

$$m = \frac{3 \log \dfrac{k \left(\sqrt[3]{v'_1 + v'_2} - \sqrt[3]{v'_2}\right)}{l}}{\log 2} + 1$$

sendo

$$v'_1 + v'_2 = v_c$$

e anàlogamente ao caso anterior

$$v'_2 = \frac{v_c\, v_2}{v_t}$$

Portanto, teremos:

$$m = \frac{3 \log \dfrac{k \left(\sqrt[3]{v_c} - \sqrt[3]{\dfrac{v_c\, v_2}{v_t}}\right)}{l}}{\log 2} + 1 =$$

$$= \frac{3 \log \dfrac{k \sqrt[2]{v_c} \left(1 - \sqrt[3]{\dfrac{v_2}{v_t}}\right)}{l}}{\log 2} + 1$$

fazendo

$$k_3 = 1 - \sqrt[3]{\frac{v_2}{v_t}}\,,$$

vem

$$m = \frac{3 \log \dfrac{k\, k_3 \sqrt[3]{v_c}}{l}}{\log 2} + 1$$

substituindo m em (7), teremos:

$$\sqrt{D} = \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^3}{v_t \left(3 \log \dfrac{k\, k_3 \sqrt[3]{v_c}}{l} + \log 2\right)}$$

mas

$$k = \sqrt[3]{\frac{3}{\pi\, \mathrm{tg}\, \varphi}}$$

donde

$$\sqrt{D} = \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^3}{v_t \log \dfrac{3 \times 2 \times k^3_3\, v_c}{\pi\, l^3\, \mathrm{tg}\, \varphi}} =$$

$$= \frac{5\, \pi\, (\log 2)\, \alpha\, \beta\, E\, D^3}{v_t \log \dfrac{6\, k^3_3\, v_c}{\pi\, l^3\, \mathrm{tg}\, \varphi}}$$

donde

$$\log \frac{6\ k^3_3\ \alpha\ E\ D^3}{4\ l^3\ tg\ \varphi} = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E\ D^4}{v_t\ \sqrt{D}}$$

ou ainda

$$\log \frac{1{,}5\ k^3_3\ \alpha\ E\ D^3}{l^3\ tg\ \varphi} = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E\ D^{5/2}}{v_t}$$

Determinação do valor de D

Para determinar o valor de D procede-se como no caso anterior, construindo as curvas das funções φ_1 (D) e ψ_1 (D).

sendo

k_4 e k_5 constantes.

III — Resolução do problema

Pela relação entre v_1 e v_2 decide-se se se trata do caso A ou B.

Caso A

No gráfico I, colocar a origem do eixo das ordenadas de forma que ao ponto de cruzamento dos 2 eixos, representados, corresponda o valor de (0, log k_1); (1) o gráfico

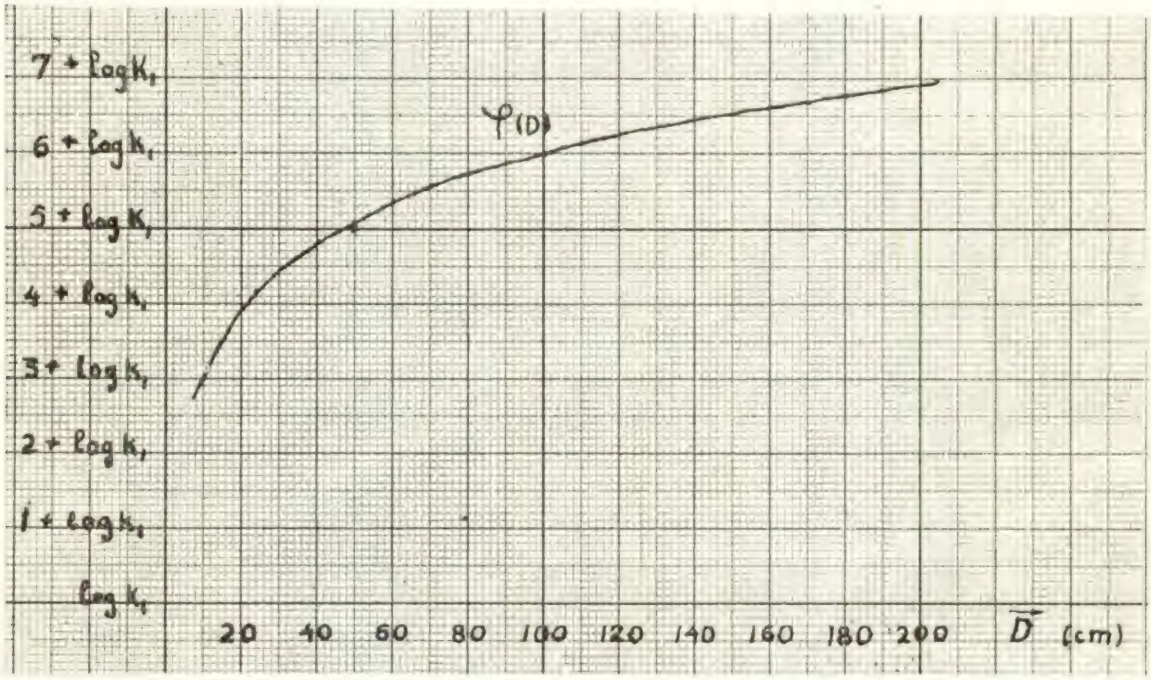


Gráfico I

O ponto de cruzamento dar-nos-á o valor de D.

As funções φ_1 (D) e ψ_1 (D) serão:

$$\varphi_1\ (D) = \log \frac{1{,}5\ k^3_3\ \alpha\ E\ D^3}{l^3\ tg\ \varphi}$$

$$\psi_1\ (D) = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E\ D^{5/2}}{v_t}$$

ou

$$\varphi_1\ (D) = \log k_4\ D^3 = \log k_4 + \log D^3$$

e

$$\psi_1\ (D) = k_5\ D^{5/2}$$

foi construído de forma a cada cm do eixo das ordenadas corresponder uma unidade da função φ (D) (1 cm <> 1 = log 10).

---

(1) Justificação: como a função φ (D) se pode escrever sob a forma

$$\varphi\ (D) = \log k_1 + \log D^3\ ,$$

fazer variar log k_1 (independente de D) equivale a deslocar a curva de forma a que as variações resultantes para as ordenadas dos vários pontos da curva sejam iguais e só dependentes de log k_1.

O valor de k^1 deve ser calculado pela expressão:

$$k_1 = \frac{12\ \alpha\ E\ v_2}{l^3\ tg\ \varphi\ v_t} \qquad \text{(l expressos em cm)}$$

Calculamos em seguida o valor de k_2, sendo k_2 dado por

$$k_2 = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E}{v_t}$$

Em que v_t deve ser expresso em cm^3, ou calculado por

$$k_2 = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E}{v_t \times 10^6}$$

sendo v_t expresso em m^3.

Finalmente, para o traçado da função $\varphi_1(D) = k_2\ D^{2,5}$ temos a tabela I.

O ponto de Intersecção das 2 curvas dá-nos o valor de D.

TABELA I

D	log D^3	$D^{2,5}$
10	3,00000	316
20	3,90309	1.788
30	4,43136	4.929
40	4,80618	10.120
50	5,09691	17.677
60	5,33445	27.885
70	5,53529	40.998
80	5,70927	57.241
90	5,86273	76.844
100	6,00000	100.000
110	6,12418	126.904
120	6,23754	157.737
130	6,34183	192.693
140	6,43838	231.907
150	6,52827	275.557
160	6,61236	323.814
170	6,69135	376.798
180	6,76582	434.678
190	6,83626	497.602
200	6,90309	565.680

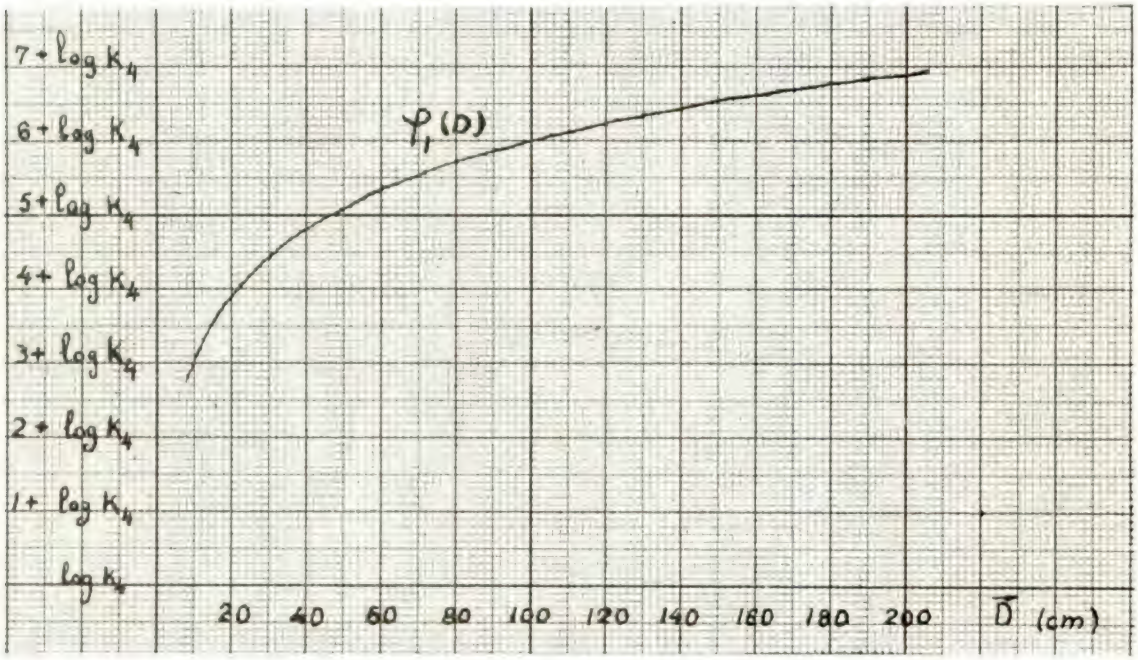


Gráfico II

Com o valor de D assim determinado calcula-se o comprimento do misturador, pela expressão

$$L = \alpha\ D$$

Caso B

Anàlogamente ao caso anterior, colocamos a origem do eixo das ordenadas de

forma que ao ponto de cruzamento dos 2 eixos, representados no gráfico II, corresponda o valor (0, log k_4); o gráfico foi construído de forma a cada cm do eixo das ordenadas corresponder uma unidade de função φ_1 (1 cm <> 1 = $\log_1 10$).

O valor de k_4 è dado por

$$k_4 = \frac{1{,}5\ k_3^3\ \alpha\ E}{l^3\ \mathrm{tg}\ \varphi}\ ,\ \text{sendo}\ k_3 = 1 - \sqrt[3]{\frac{v_2}{v_t}}$$

e l expresso em cm.

Calculamos em seguida o valor de k_5 pela expressão

$$k_5 = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E}{v}$$

Em que v_t deve ser expresso em cm^3; ou calculado por

$$k_5 = \frac{5\ \pi\ (\log 2)\ \alpha\ \beta\ E}{v_t \times 10^6}$$

sendo v_t expresso em m^3.

Finalmente, para o traçado da função $\psi_1(D) = k_5\ D^{2,5}$ temos a tabela I.

O ponto de intersecção das 2 curvas dá-nos o valor de D.

A partir do valor de D, assim determinado, calcula-se o comprimento pela expressão

$$L = \alpha\ D$$

Relatório da Direcção da "Técnica" do ano lectivo de 1945-1946

Com a publicação deste relatório reatamos uma tradição de cujo atrazo pedimos desculpa.

No nosso País pulula o génio e surgem revistas por todo o lado, em cujo primeiro número se alega, invariàvelmente, o fatal lugar comum de vir «preencher uma lacuna no nosso meio», científico, literário ou artístico, segundo o caso. A grande maioria tem, como se observa, uma vida radiosa e breve — do foguete que deu quatro estalos no ar resta uma cana que fica à beira dos caminhos — e não se sabe ao certo se a lacuna ficou bem preenchida com umas resmas esquecidas de papel impresso.

Por isso nos é grato constatar que a «Tecnica» completou 21 anos. Entrou na maioridade; é uma pessoa crescida.

Estão já muito longe aqueles anos em que gente moça e confiante lhe orientou os primeiros passos. A Revista foi crescendo e foi-se individualizando até atingir o carácter estável — estável não quere dizer imóvel — que mantém há anos.

Com passos lentos, mas seguros, segue o seu caminho. Não tem tido revoluções: os sucessivos Directores, conscientes de serem apenas um dos que a servem, têm tido a preocupação de lhe assegurar a continuidade, procurando melhorá-la na medida do possível sem a desviar do rumo traçado. Felizmente têm-se contentado com não ser génios.

Não chega a ser paradoxal dizer-se que não é o Director que faz a «Técnica», mas sim a «Técnica» que faz o Director. Quem faz a «Técnica» são aqueles que, desinteressadamente, com sacrifício de tempo precioso, contribuem, utilizando as suas páginas, para simplificar os problemas que surgem no dia a dia da vida do Engenheiro.

É por isso que a nossa Revista é, e há de continuar a ser, aquilo que os alunos do I. S. T. — actuais e antigos — quiseram que ela seja. A «Técnica» não é distinta do *Instituto,* na acepção mais elevada de Instituto: *é a sua síntese e vale o que ele valer.*

Esta afirmação, não a fazemos pelo gosto da frase; tem sentido e merece ser meditada pois corresponde ao principal problema que surge ante o Director da Revista: *a colaboração.*

Há, fundamentalmente, três generos de artigos com que pode contar:

— artigos de alunos

— publicações de conferências que interessam ao I. S. T.

— artigos pedidos a Professores, Assistentes e Engenheiros ou fornecidos espontâneamente.

O nível de qualquer destas categorias é, como é óbvio, uma função do nível do *Instituto;* mesmo quando se trate de Engenheiros ou Professores doutras Escolas, a sua adesão a colaborar nas folhas da «Técnica» é indício de reconhecerem que dessa maneira valorizam e dão uma divulgação útil aos seus originais.

É fácil ao Director ajuizar da vantagem da publicação dum artigo escrito por um aluno.

A escolha das conferências a publicar não apresenta problemas embaraçosos: quando não interessa, basta não pedir ao autor a autorização de a publicar.

Mas, para uma hipotética rejeição dum artigo da terceira categoria, que engloba a grande maioria dos artigos publicados, a posição do Director é precária e o seu critério discutível. Segue-se que o interesse da publicação desta última classe de artigos resulta em última análise do senso crítico dos autores.

É por isso que o *valor* da «Técnica» não é totalmente controlado pela sua Direcção e é intrínsecamente dependente do *valor* do Instituto.

É precisamente este facto — de que se podem criticar algumas consequências, não susceptíveis de remédio fácil — que dá à «Técnica» o seu carácter especial de continuidade e síntese.

* * *

O primeiro facto que a Direcção da «Técnica» teve de encarar no ano de publicação 45-46 foi a necessidade da subida dos preços de venda e assinatura.

Estudado o quantativo estritamente indispensável dos aumentos hesitou-se entre dá-lo a conhecer aos assinantes duma só vez ou a pouco e pouco, em pequenas doses. Optou-se pela primeira fórmula e essa decisão não deu lugar a arrependimentos. O choque foi bem recebido, o que revela claramente o amor que os leitores vão tendo pela «Técnica» e a compreensão dos seus problemas e dificuldades.

De facto, os aumentos sofridos apenas trazem os preços da nossa Revista para o nível do das revistas congéneres.

Subidos os preços, não houve a preocupação de aumentar rápidamente o número de páginas, à guisa de justificação. Isso seria infantil e, pelo contrário, demonstraria que o aumento de preços não era indispensável.

O que se fez foi começar a respirar mais à vontade, depois de um ano em que as possibilidades económicas de se melhorar a Revista ficaram reduzidas à sua expressão mais simples.

Obteve-se uma facilidade de movimentos que permitiu encarar a sério novas iniciativas.

QUADRO I

AUTORES	N.º de artigos			N.º de páginas			Em %		
	1943-44	1944-45	1945-46	1943-44	1944-45	1945-46	1943-44	1944-45	1945-46
Professores e assistentes	13	10	20	118	150	317	23,3	26,3	56,2
Engenheiros I. S. T...	12	13	12	97	147	72	19,2	25,8	12,8
Alunos I. S. T.....	3	5	4	15	37	42	2,9	6,5	7,5
Engenheiros (outras escolas).....	19	11	9	200	149	60	39,6	26,1	10,7
Outros colaboradores .	14	6	2	16	49	12	13,3	8,6	2,1
«Mundo Técnico»....	—	—	—	21	10	31	4,1	1,8	5,6
Notas bibliográficas...	—	—	—	8	10	6	1,5	1,7	1,2
Publicações recebidas..	—	—	—	9	9	7	1,7	1,6	1,2
Vida escolar e associativa	—	—	—	20	9	15	3,4	1,6	2,7
	61	45	47	504	570	562	100,0	100,0	100,0

QUADRO II

ASSUNTOS	N.º de artigos			N.º de páginas			Em %		
	1943-44	1944-45	1945-46	1943-44	1944-45	1945-46	1943-44	1944-45	1945-46
Civil.....	37	14	14	357	203	172	73,4	40,1	34,2
Química.....	4	1	10	24	20	188	4,9	3,9	37,4
Minas.....	1	6	6	13	52	30	2,6	10,3	5,9
Electrotécnica	5	5	2	24	74	37	4,9	14,6	7,4
Mecânica	2	2	1	9	32	5	1,8	6,3	1,0
Vários	12	17	14	57	125	71	11,7	24,8	14,1
	61	45	47	484	506	503	100,0	100,0	100,0

Passaremos a fazer algumas observações àcerca dos quadros acima. Eles comparam os artigos de 45-46, por assuntos e por autores, em confronto com os anos anteriores.

Começaremos por observar que há mais páginas e menos artigos escritos por professores assistentes. Resultou este facto de se ter de distribuir por vários números o artigo *Estacas para fundações* do Eng.º Fernando Vasco Costa, sempre dedicado colaborador da «Técnica». Não podemos deixar de nos referir a este artigo pois ele está muito perto daquilo qne consideramos o artigo ideal para a «Técnica».

São artigos deste tipo — (escolhemos este como exemplo, um bom exemplo; poderiamos ter escolhido outro) — que lhe aumentam o interesse. São eles que evitam ao Engenheiro que se tiver de colocar ao corrente do assunto tratado a consulta ao acaso duma longa bibliografia, quando porventura existe. Porém, são tambem eles que tiram maior tempo aos autores, pois pressupõem um longo trabalho de síntese. Daí o serem raros.

Aumentaram tambem em número e percentagem as páginas dedicadas ao «Mundo Técnico». Quanto a nós, é esta uma secção muito interessante da Revista. Se for feita com critério, tem a enorme vantagem de pôr à disposição do leitor referências e artigos escolhidos que apenas a assinatura de uma quantidade grande de revistas poderia permitir.

Foi-se desenvolvendo o «Ficheiro»; aproveitamos a oportunidade para agradecer àqueles a cujo interesse e paciente trabalho se deve a continuação de uma secção tão útil.

No quadro por assuntos notamos imediatamente que a especialidade de Civil continua a ocupar o maior número de páginas.

Supomos que este facto tão observado na nossa Revista não resulta apenas de existirem mais Engenheiros Civis do que de qualquer outra especialidade. Temos a impressão de que é consequência de ser essa a especialidade em que tem havido até agora maior facilidade de se fazerem coisas novas em Portugal.

No entanto, notamos que as páginas destinadas à Química sofreram o enorme acréscimo de 3,9 % para 37,4 %. Um exemplo a ser meditado pelas especialidades de Minas e Electricidade, que se mantém na mesma penumbra de sempre.

* * *

As relações entre a AEIST e a «Técnica» não foram bem claras durante o ano 45-46. Trata-se de um ano de transição. Não sabemos se à data elas já se encontram em regime definitivo: De qualquer forma, temos a certeza de que a actual Direcção se não esqueceu de que, na interdependência da «Técnica» e Associação existe um problema-chave cuja solução tem de ser procurada com equilíbrio: a «Técnica» chama-se *Revista dos alunos do I. S. T.* mas tem de ser ao mesmo tempo:

Revista *para* os alunos do I. S. T. e, o que è mais: Revista de Engenharia.

BIBLIOTECA

PUBLICAÇÕES

Todas as publicações aqui indicadas, são pertença da biblioteca da A. E. I. S. T. e podem ser consultadas a partir desta data.

Os números indicados à esquerda, dão a localização das obras na nossa biblioteca, e há conveniência em os saber quando da requisição de livros.

C. D. 371.34

O método de redução ao absurdo (aspecto lógico e pedagógico)

Por MARIA TEODORA BAPTISTA ALVES

1948 — vol. 1, 36 págs.

C. D. 532.51 (06)

Two-Dimensional Subsonic Flows of a Compressible Fluid and Their Singularities

Por STEFAN BERGMAN

Harvard University — 1947 — vol. 1, págs. 452/498

C. D. 541.124:663.632.8 (06)

The dynamics of water chlorination

Por GORDON FAIR, CARREL, MORRIS e SHIH CHANG

Harvard University — 1947 — vol. 1, págs. 285/301

C. D. 628.31:577.1

Bioquímica das águas residuais

Por PINTO FONSECA

1947 — vol. 1, 25 págs.

C. D. 624.131:624.15 (73)

The pile fundation for the new John Hancock Building in Boston

Por ARTHUR CASAGRANDE

Harvard University — 1947 — vol. 1, págs. 297/315

C. D. 624.131 (06)

Research on stress-deformation and strength characteristics of soils and soft rocks under transient loading

Por A. CASAGRANDE e W. SHANNON

Haward University — 6-948 — vol. 1, págs. 132

REVISTAS

	C. D.	
Actividade Económica de Angola, n.º 19	338	Portugal
Aeroplane (The), n.os 1947 a 1952	629.13	Inglaterra
Agros, n.º 4 (1948)	631	Portugal
Alfa, n.º 45	62/69	Espanha
Arcos, nº 110	621.79	Bélgica
Arquitecto Constructor (El), nº 678	72	Argentina
Asea Journal, n.os 1-2, e 5 a 9 (1948)	621 3	Suécia
Asea-Revue, n.os 1-3, 1948	621.3	Suécia
Boletim da Junta Nacional da Cortiça, n.º 119	679	Portugal
Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa, n.os 5-6, (1948)	6:9	Portugal
Brotéria, Fascículo 1 (1948)	1:2:3:7:8	Portugal
Bulletin of the British Cast Iron Research Association, n.º 8 (1948)	669 16	Inglaterra
Bulletin Oerlikon, n.º 270 e 271	621.3	Suíça
Cemento y Hormigón, n.º 175	666.9:624	Espanha
Chronique des Mines Coloniales (La), n.os 145-146	622	França
Dyna, n.º 9 (1948)	62/69	Espanha
Estudos, n.º 270	1:2:3:7:8	Portugal

Fábrica Nacional de Condutores Eléctricos, L.da

VENDA NOVA — AMADORA

●

CONDUTORES ELÉCTRICOS

C E L

Fabricados pela indústria nacional segundo as Normas de segurança das instalações de Baixa Tensão

●

CONCESSIONÁRIOS GERAIS:

SODIL — Sociedade Distribuidora, L.da

R. NOVA DA TRINDADE, 15-C

L I S B O A

	C. D.	
Gazeta dos Caminhos de Ferro, n.os 1455 a 1458	385	Portugal
Geologia e Metalurgia, n.º 5 (1948)	53/669	Brasil
Indústria Portuguesa, n.os 244 e 245	62/69	Portugal
Indústria e Técnica, n.º 21	62/69	Portugal
Informaciones Iram, n.º 5 (1948)	389.6	Argentina
Ingenieria (La), n.º 882	62	Argentina
Ossature Metalique, n.º 9 (1948)	624.014	Bélgica
Plastic Bulletin, n.º 40	679.5	U. S. A.
Revista de Artilharia, n.os 277 a 279	623	Portugal
Revista de Camiños, n.os 3-4 (1948)	625	Chile
Revista Electrotécnica, n.os 6 a 8 (1948)	621.3	Argentina
Revista das Obras Públicas, n.os 2800 e 2801	624/628	Espanha
Revista Municipal de Engenharia, n.º 1 (1948)	62/69	Brasil
Revista da Ordem dos Engenheiros, n.os 54 a 56	62	Portugal
Revista Politecnica, n.º 152	62/69	Brasil
Revue Brown Boveri, n.º 12 (1947)	621.3	Suíça
Revue Sulzer, n.os 1 e 2 (1948)	621	Suíça
Seara Nova, n.os 1091 a 1092	3:7:81(07)	Portugal
Suissa Tecnica, n.º 1, 1948	62/69	Suíça
Técnica Metalurgica, n.os 31 e 32	62/69	Espanha
Universidad de San Carlos, VIII e IX (1947)	00	Guatemala

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta Biblioteca.

C. D. 331.823:669/671

Contribución al estudio de las causas psicológicas de predisposicion al accidente en las industrias metalúrgica y de la madera — *Eusebio Marti Lamich.*

Dyna, 9-948, vol. 23, n.º 9, págs. 414/426.

Ensaios de materiais

C. D. 670.175/620.174

Distintas estructuras sonetidas a torsión y flexión — *Juan Isakov.*

La Ingenieria, 5-948, n.º 883, págs. 238/271.

Turbinas a vapor

C. D. 621 165-168

Turbinas a vapor «Sulzer», de contra-pressão.

Suíça Técnica, 1948, n.º 2, págs. 47/49.

Electricidade industrial

C. D. 621.3

Notre activité et les progrès réalizés en 1947.

Revue Brown Boveri, 12-948, vol. 35, n.os 1-2, pags. 1/72.

Production d'énergie; transport, distribution et transformation de l'énergie électrique; application du matériel Brown Boveri à l'industrie, à l'artisanat et à l'agriculture; traction; technique des courants de haute frequence, télécommunications et télécommandes; equipements pour la marine.

Máquinas eléctricas

C. D. 621.3.015.13 : 621.313.045

Sollicitation des bobines d'entrée d'enroulements par des tensions de choc de differentes raideurs — *M. Wellaner.*

Bull. Oerlikon, 1-2 948, n.º 271, pág. 1843.

C. D. 621.313.322

La construction des machines electriques modernes de grande puissance — *J. Kristen.*

Bull. Oerlikon, 1-2-948, n.º 271, págs. 1831/1842.

C. D. 621.313.13/621.314 (083.74)

Pedidos y ofertas de máquinas electricas rotativas y transformadores.

Informacions Iram, 6-948, n.º 6, págs. 109/118.

Transformação

C. D. 621.314.21-71

Resumo de alguns sistemas de refrigeração adoptados nos transformadores.

Suiça Técnica, 948, n.º 2, págs. 35/38.

Transmissão

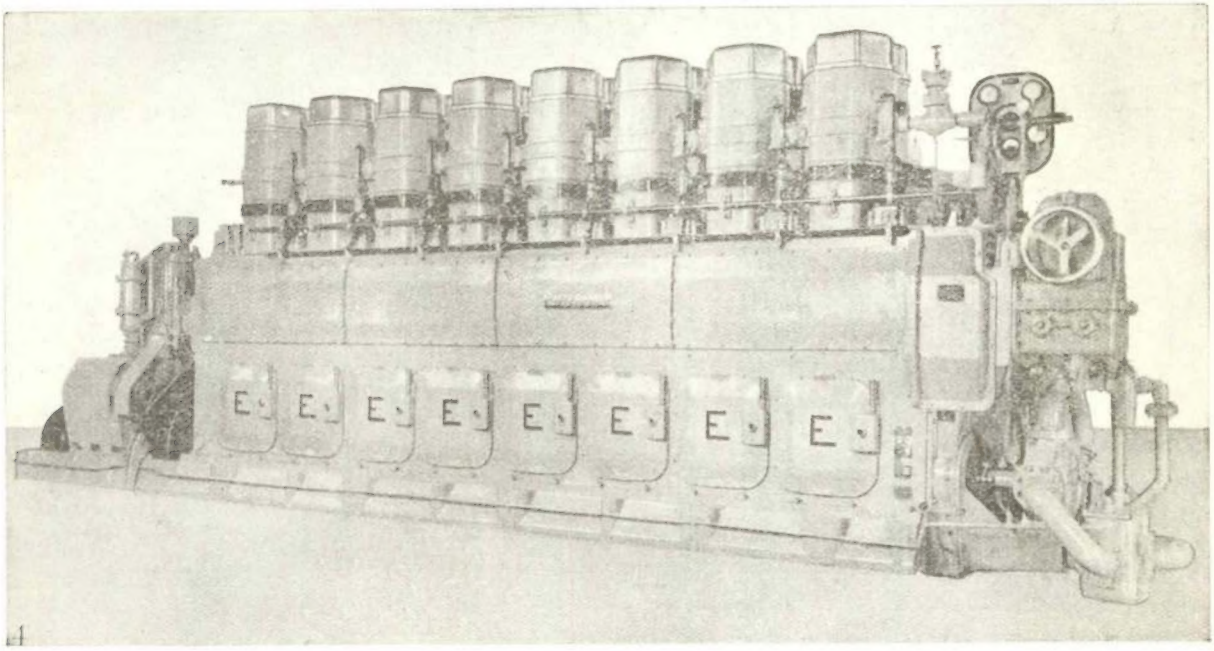
C. D. 621.315.61

Homogeneity as a Measure of Quality of Insulation — *B. Hansson.*

Asea Journal, 9-948, vol. 21, n.º 9, págs. 93/98.

ENTERPRISE

ENGINE & FOUNDRY COMPANY — U. S. A.



MOTORES DIESEL MARÍTIMOS — MOTORES DIESEL ESTACIONÁRIOS

GRUPOS DIESEL-GERADOR

45 a 2100 HP — **200 a 850 RPM** — **3 a 8 cilindros**

- Bloco de cilindros fundido numa só peça.
- Base fundida numa só peça.
- Camisas em contacto directo com a água.
- Cabeças de cilindro individuais.
- Cambota em aço forjado.
- Tirantes em aço forjado, Tipo marítimo.
- Bombas de injecção individuais.
- Válvulas em aço « SILICHROME »
- Lubrificação forçada.
- Balanceiros com sistema hidráulico para eleminação de folga.
- Válvula de arranque em todos os cilindros.
- Com ou sem sobre-alimentação.

CONSTRUÇÃO ROBUSTA — SERVIÇO CONTÍNUO — ECONOMIA

REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

RUA ANDRADE CORVO, 3-C — **LISBOA**